



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

ROTUTVECKLING I MAJS

Maria Nitare



Examensarbete i hydroteknik
Handledare: Ragnar Persson

**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Avdelningsmeddelande 89:8
Uppsala 1989**

ISSN 0282-6569

ISBN 91-576-3952-3



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

ROTUTVECKLING I MAJS

Maria Nitare



Examensarbete i hydroteknik
Handledare: Ragnar Persson

**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Avdelningsmeddelande 89:8
Uppsala 1989**

ISSN 0282-6569

ISBN 91-576-3952-3

FÖRORD

Denna uppsats utgör Maria Nitares examensarbete i ämnet hydroteknik. Arbetet, som omfattar dels en litteraturstudie och dels egna undersökningar, har utförts vid försöksavdelningen för hydroteknik med undertecknad som handledare. Instruktioner för rotstudierna har getts av Eva-Lou Gustafsson som också lämnat värdefulla synpunkter under arbetets fortskridande.

Sedan arbetet redovisats vid ett seminarium på institutionen för markvetenskap i maj 1989 har visst redigeringsarbete utförts. Detta har huvudsakligen gjorts av Maj-Britt Brolin.

Ett tack riktas härmed till alla som bistått med råd, granskning och synpunkter.

Ultuna den 20 september 1989

Ragnar Persson

<u>INNEHÅLL</u>	<u>SIDA</u>
SAMMANFATTNING	7
INLEDNING	7
LITTERATURSTUDIE	8
ALLMÄNT OM MAJS	8
ROTUTVECKLING	9
Utvecklingsstadier	10
Begreppet rotlängdsdensitet	10
VATTENUPPTAGNING	11
OLIKA BRUKNINGSÅTGÄRDER INVERKAN PÅ ROTUTVECKLINGEN	14
Bevattning	14
Jordbearbetning	17
Marktäckning	19
Gödsling	19
ROTUTVECKLING I FÖRHÅLLANDE TILL GASUTBYTE OCH NÄRINGSUPPTAGNING	20
EGNA UNDERSÖKNINGAR	22
MATERIAL OCH METODER	22
Metodbeskrivning	22
RESULTAT	25
Utvecklingsstadier och planthöjd	25
Maximalt rotdjup	26
Antal rötter	27
Rothår	29
Kondition och färg	30
Rottjocklek	31
Sidorötter	32
Rotförgreningar	34
Stödrötter	34
DISKUSSION	36
LITTERATUR	38
BILAGOR	
Bilaga 1: KORNTORLEKSFÖRDELNING OCH VOLYMSFÖRHÅLLANDEN	
Bilaga 2: BERÄKNAD MARKVATTENBALANS	
Bilaga 3: TEMPERATUR- OCH NEDERBÖRDSFÖRHÅLLANDEN	

SAMMANFATTNING

Studier av rotutvecklingen i majs utfördes sommaren 1988 i anslutning till en försökserie rörande bevattning av majs under olika utvecklingsstadier. Försöken utfördes för att klarlägga om majsen är särskilt känslig för vattenstress under vissa utvecklingsstadier. Avsikten med rotstudierna var att belysa eventuella samband mellan torkkänslighet och rotutveckling.

Rötterna studerades vid tre utvecklingsstadier dels på sandjord (Ugerup i Kristianstad län) och dels på moränlera (Lönnstorp i Malmöhus län). På sandjorden jämfördes rotutvecklingen mellan såväl obevattnad som bevattnad majs.

Rotsystemet var betydligt djupare i lerjorden än i sandjorden. Alven i sandjorden var mycket kompakt vilket kan ha utgjort ett mekaniskt motstånd för rötterna. Det är även troligt att det kan ha utbildats en torrfront som förhindrade rötterna att tillväxa på djupet. Rötterna i sandjorden var således i stor utsträckning hänvisade till regn och/eller bevattning för sin vattenförsörjning. Ner till 40-50 cm djup var det därför fler rötter i sandjorden än i lerjorden. Antalet rötter på djup större än 50 cm var däremot störst i lerjorden.

Vid försöksplatsen Ugerup uppstod markvattenunderskott som motiverade bevattning endast vid två tillfällen. Vissa skillnader i rotutveckling mellan försöksleden, obevattnat och bevattnat, kunde ändå iakttagas:

- * Maximala rotdjupet var störst i den bevattnade majsen.
- * Vid de rotstudier som utfördes strax före blomning respektive efter blomning, var det något fler rötter i den obevattnade majsen.
- * Strax före blomning var rötterna i bevattnat försöksled vitare än i obevattnat.
- * Sidorötterna var betydligt längre hos den obevattnade majsen, särskilt i skiktet 10-30 cm strax före blomning samt i skiktet 20-50 cm efter blomning.

Vid undersökningstillfället som inföll strax före blomning konstaterades dessutom att vissa av plantorna i obevattnat led redan börjat blomma. I bevattnat led förekom då ingen blomning och majsen var dessutom något högre och kraftigare än i obevattnat.

INLEDNING

Majs är en relativt ny gröda i Sverige och odlingstekniken är kanske ännu inte helt utvecklad för svenska förhållanden. Grödan odlas huvudsakligen på mullrika lerjordar i södra Sverige men odling förekommer ända upp till mälardalen. Kan odlingssäkerheten förbättras genom anpassad odlingsteknik och anpassat sortmaterial är det troligt att odlingen av majs kommer att öka i Sverige. Många odlare har börjat odla sockermajs för självplockning men annars är det i huvudsak fodermajs som odlas i Sverige. Den ger

ett både smakligt och energirikt foder som passar alla djurslag och skörden per hektar är hög. Den stora produktionen av biomassa ställer dock stora krav på rotsystemet som effektivt måste kunna ta upp och transportera vatten och näring. Majsens vattenbehov är stort. Få grödor utnyttjar vattnet mer effektivt än majs.

Hur påverkas rötternas utveckling av fuktighetsförhållandena i marken? Under vilka utvecklingsstadier är majsplantan mest känslig för vattenstress? Kan dessa frågor besvaras vet man med större säkerhet när eventuell bevattning ska sättas in. Hittills har dock kunskapen om majsens vattenbehov och rotutveckling under svenska förhållanden varit begränsad. I denna uppsats redovisas resultat av rotstudier utförda på två olika jordar i södra Sverige sommaren 1988.

LITTERATURSTUDIE

ALLMÄNT OM MAJS

Majs är en av de viktigaste grödorna för stora delar av världens befolkning; endast ris och vete odlas på större arealer (Åvall, 1987). USA svarar för över hälften av världsproduktionen, därefter kommer Argentina (Andersson & Ripa, 1983). Troligen kommer majsen ursprungligen från Mellanamerika där den odlats i årtusenden. På 1500-talet fördes majsen till Europa, men nådde inte Skandinavien förrän i mitten av 1900-talet (Åvall, 1987). I Sverige odlas majs på blygsamma 3000 ha, medan Danmark använder omkring 20 000 ha för majsproduktion (Andersson & Ripa, 1983).

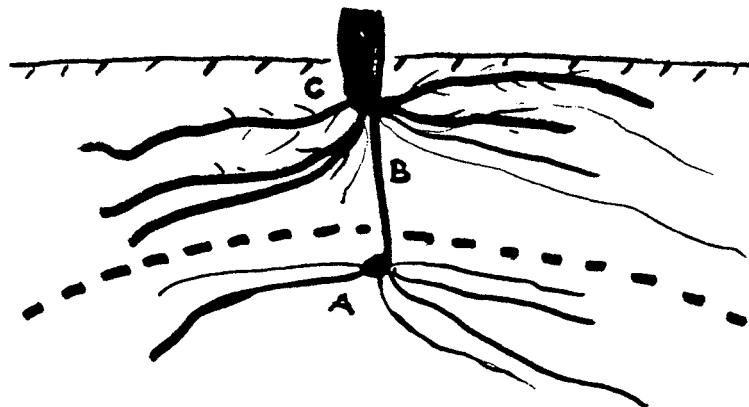
Majs, *Zea mays* (L.), brukar delas in i fem sorter; dentmajs (*var. indentata*), flintmajs (*var. indurata*), puffmajs (*var. praecox*), sockermajs (*var. rugose*) och mjölmajs (*var. erythrotchis*). För foderändamål används framför allt dentmajs och flintmajs (Åvall, 1987). En mångfald hybridsorter har förädlats fram för att tillgodose olika behov med avseende på resistens, odlingsbetingelser och användningsområden (Milbourn, 1975).

Majsen är ettårig, och för att plantan ska få en bra start krävs att jorden är fuktig och varm (+8°C för silomajs och +10°C för sockermajs) (Åvall, 1987). Den första roten utvecklas inom 2-3 dagar och några dagar senare utvecklas koleoptilen. Innan plantan etablerat sig med fungerande rotsystem och blad som fotosyntetiserar infaller ett mycket kritisk utvecklingsstadium. Stor risk föreligger för angrepp från svampar och andra mikroorganismer som kan tillgodogöra sig den lättillgängliga näringen i kärnan (Aldrich m fl, 1978).

Plantan är högvuxen, 2-3 meter, och enligt Milbourn (1975) blir den vegetativa tillväxten särskilt kraftig om majsen sås sent (kolvskörden blir dock lägre vid sen sådd än vid optimal såtid). Till skillnad från de flesta arter inom familjen Graminae har majsen ett mycket kraftigt strå och breda blad (Åvall, 1987). Även med blommornas placering intar majsen en särställning (Aldrich m fl, 1978). Hanblommorna är samlade i ax på vippan (fig. 1) och börjar blomma något tidigare än honblommorna som sitter i bladvecken ("kolvarna"). Majsen är korsbefruktare och pollineringen sker med hjälp av vinden. Enligt Aldrich m fl (1978) är det vid denna tidpunkt som brist på vatten och näring får de mest förödande konsekvenserna.



Figur 1. Majsplanta med hanblommorna i ax på vippan och honblommorna i bladvecken.



Figur 2. Majsens tidiga rotsystem. A = frörötter, B = mesocotyl, C = kronrötter.

ROTUTVECKLING

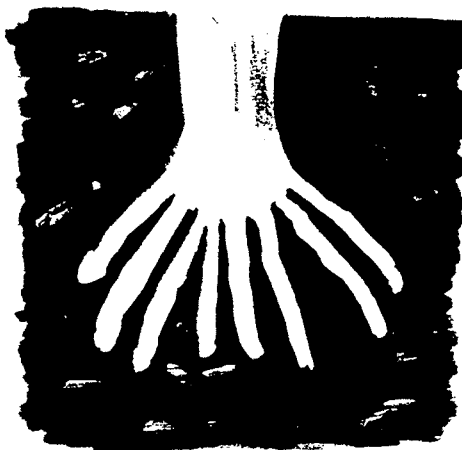
Hur majsens rotsystem utvecklas beror på många olika faktorer, exempelvis jordart, näringstillgång, vattenhalt och klimat. Ofta är rotens närmiljö viktigare för utvecklingen än det genetiska materialet (Portas, 1973).

Utvecklingsstadier

Då ett majsfrö placeras i varm och fuktig jord börjar det svälla och kemiska förändringar i kärnan aktiverar tillväxten av den första roten, radican. Den blir synlig efter ett par dagar och följs snart av fler frörötter. Enligt Aldrich m fl (1978) utvecklas vanligen 6-7 frörötter innan det permanenta rotsystemet, kronrötterna nått sådan storlek att frörötterna inte längre fyller någon funktion. Avståndet mellan frörötterna och de ovanförliggande kronrötterna bestäms av hur långt mesocotylen ("förbindelselänken") har sträckt sig (fig. 2). Mesocotylen längd beror i sin tur bl a av hur djupt kärnan placerats. Att mesocotylen har förmågan att sträcka sig är mycket viktigt för att koleoptilen ska kunna fullgöra sin uppgift att hjälpa bladen till markytan. Med ett normalt sådjup blir avståndet mellan de båda rotsystemen omkring 3-4 cm, men specialsorter har selekterats fram där mesocotylen kan bli upp till 30 cm för att klara mycket djup sådd under torra förhållanden (Aldrich m fl, 1978).

Under plantans snabba ovanjordiska tillväxt fram till blomning växer även rötterna mycket snabbt för att sedan nästan stanna upp. Das (1973) fann att rottillväxten var långsammast i början av frösättningen, därefter ökade åter rötternas tillväxthastighet.

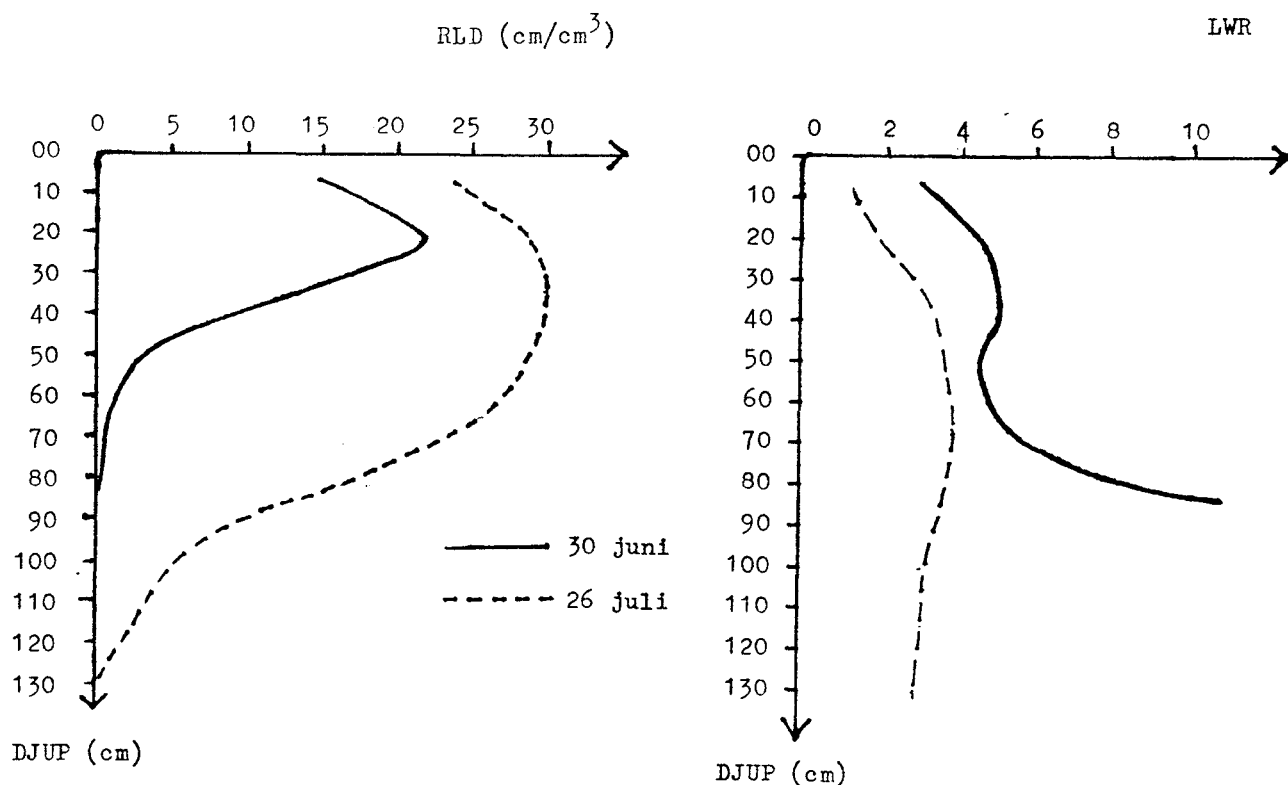
Vid tiden för begynnande blomning börjar stödrötterna utvecklas från basalnoden (fig. 3). De stöttar plantan men tjänar även som ledningsbanor för vatten och näring (Åvall, 1987).



Figur 3. Majsens stödrötter stabiliserar plantan men är även viktiga för vatten- och näringsupptagningen.

Begreppet rotlängdsdensitet

Ett ofta använt mått på rötternas längd och antal är rotlängdsdensiteten (RLD) vilken uttrycks i centimeter rot per kubikcentimeter jord. Många författare använder i kombination med RLD även kvoten rotlängd/rotmassa (LWR). Allmaras m fl (1975) beskriver att RLD ökar på de flesta nivåer allteftersom grödan utvecklas, medan LWR ofta ökar nedåt i en profil men minskar med tiden på en given nivå (fig. 4).

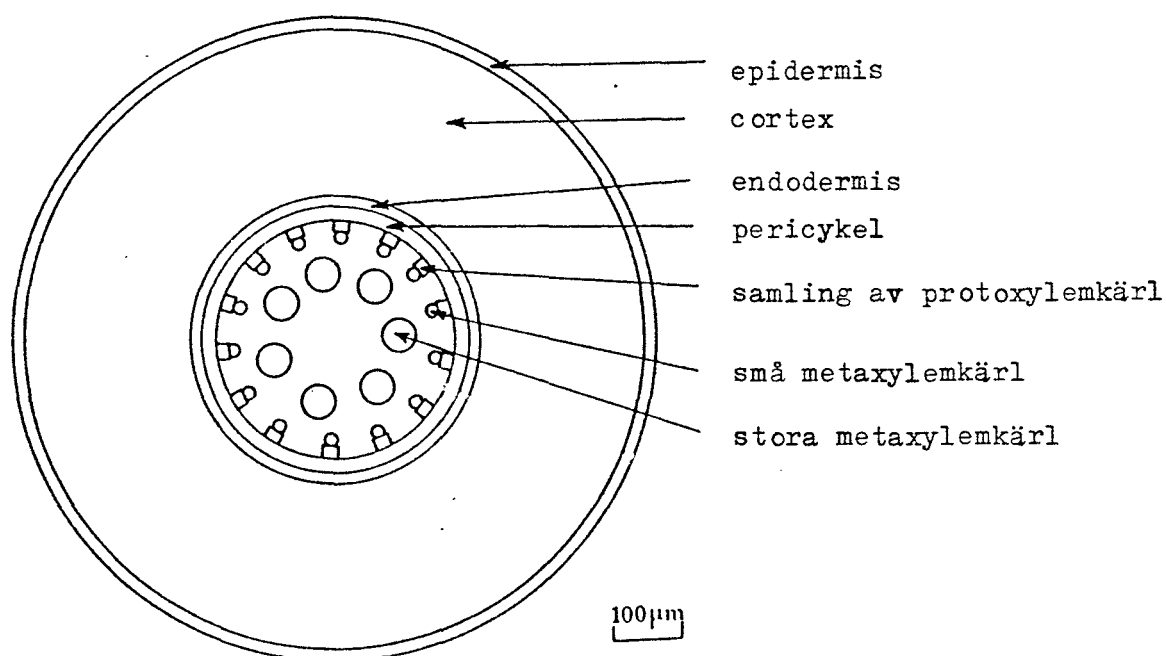


Figur 4. Rotlängdsdensiteten (RLD) och kvoten rotlängd/rotmassa (LWR) på olika djup vid två tillfällen under vegetationsperioden. (Efter Allmaras m fl, 1975.)

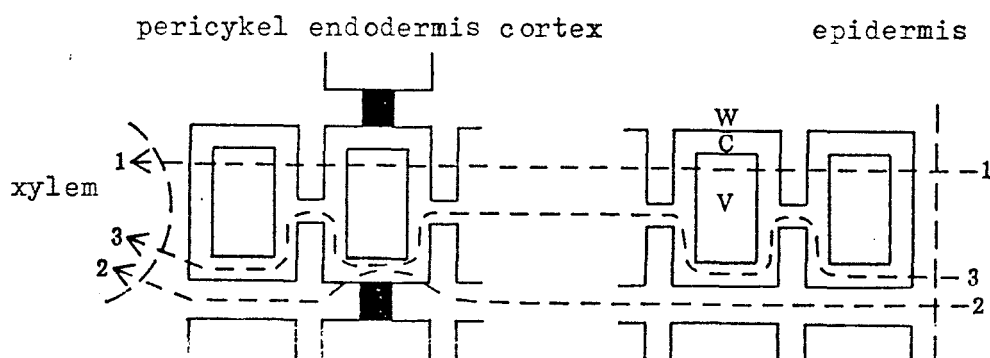
VATTENUPPTAGNING

Vatten som tas upp av en rot transporteras först radiellt genom epidermis, cortex, endodermis och pericykeln till xylemet. I xylemet transporteras vattnet vidare upp till stammen och bladen. Avståndet mellan rotytan och xylemet är oftast mindre än 1 mm (fig. 5), men vävnaderna gör det till en mycket besvärlig passage. Enligt Newman (1976) finns det här tre tänkbara vägar för vattnet (fig. 6).

Permeabiliteten hos olika membran m m i en majsrot har bestämts och beräkningar visar att den troligaste vägen för vattnet är den som markerats med 3 i fig. 6. Vattnet kommer in i protoplasman via epidermis eller cortex och rör sig sedan från cell till cell med plasmodesmerna. Strömningsmotståndet är alltför stort om vattnet ska passera plasmalemma (väg 2) och väg 1 är möjlig endast om majsens membran var lika permeabla som makroalgers. I en studie där olika arter växte under samma förhållanden visade det sig att majs hade en permeabilitet på 22, tomat 61 och solros 7,1 nms⁻¹ MPa⁻¹ (Newman, 1976).



Figur 5. Tvärsnitt av en majsrot. (Efter Newman, 1976.)

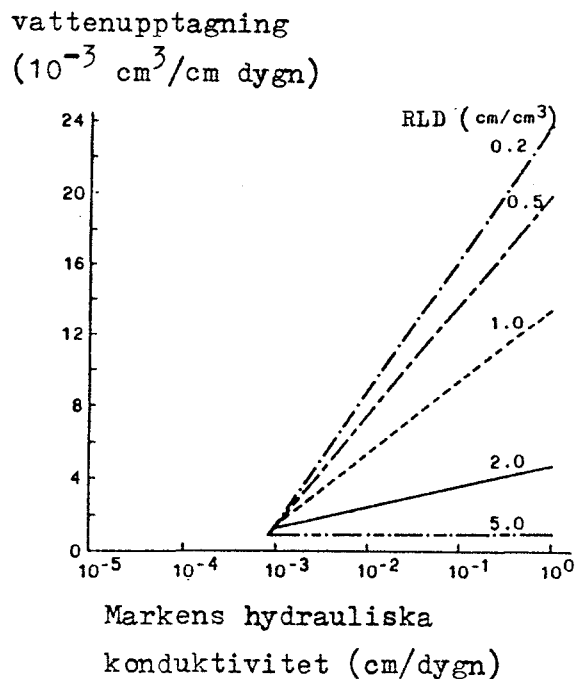


Figur 6. Schematisk bild på en del av en majsrot med tre tänkbara vägar för vattnet att nå xylemet. C = cytoplasm, V = vakuol, W = cellvägg. (Efter Newman, 1976.)

Ett flertal faktorer bestämmer permeabiliteten hos rötterna, exempelvis ålder (avstånd till rotspetsen), tid på dygnet, tryckdifferenser (Veen, 1976), temperatur, syreförhållanden och salthalt. Plantan uppvisar ett betydligt större motstånd mot vattentransport än vad marken gör tills markens hydrauliska konduktivitet (k) är 10^{-6} – 10^{-7} cm/dygn (Reicosky & Ritchie, 1976).

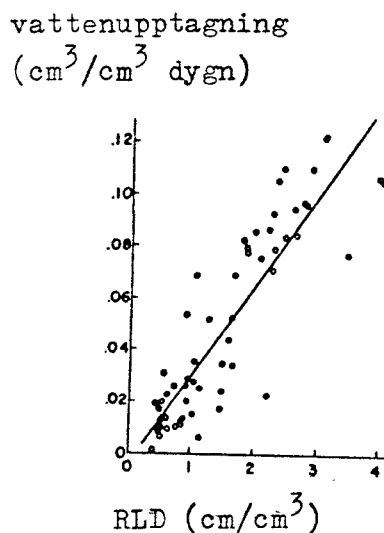
I fig. 7 visas sambandet mellan vattenupptagning per rotlängd och k vid olika värden på RLD. Då värdet på k är 10^{-3} cm/ dygn är vattenupptagningen oberoende av rötternas täthet. Vid de låga värdena på RLD ökar upptagningen snabbt då k ökar, medan upptaget vid höga värden på RLD är nästan oberoende av k . Detta förklarar författarna (Taylor & Klepper, 1973) med

att höga värden på RLD ofta innebär att rötternas genomsnittliga ålder är hög och därmed är rötterna mindre permeabla. Taylor & Klepper (1973) fann även att rötterna på djupa nivåer i en profil är effektivare i sin vattenupptagning än rötter längre upp. Detta kan ha tre förklaringar; 1) rötterna är yngre och mer permeabla, 2) konkurrensen om vattnet är mindre och 3) vattenhalten är högre djupare ned i profilen.



Figur 7. Vattenupptagningen/längdenhet som funktion av markens hydrauliska konduktivitet. De fem linjerna representerar olika värden på RLD. (Efter Taylor & Klepper, 1973.)

I fig. 7 är enheten för vattenupptagning cm^3 vatten per cm rot och dygn. Om man på y-axeln istället sätter cm^3 vatten per cm^3 jord och dygn (fig. 8) blir det en linjär ökning med ökade värden på RLD (Grimes m fl, 1975).



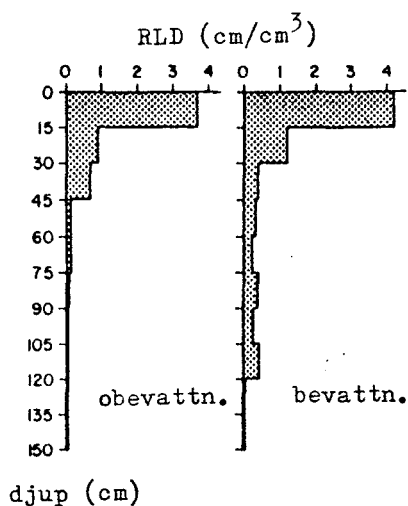
Figur 8. Samband mellan vattenupptagning och RLD för majsrötter på en lättlera. (Efter Grimes m fl, 1975.)

Bevattnings

Majsens rotutveckling under olika bevattningsregimer har studerats av flera författare. Med bevattning får majs en djupare rotsystem (Robertson m fl, 1980; Geisler & Maarufi, 1975; Aina & Fapohunda, 1986) och ger en högre skörd (Mayaki m fl, 1976; Robertson m fl, 1980; Aina & Fapohunda, 1986).

Robertson m fl (1980) redovisar två bevattningsförsök i majs på grovkorniga jordar i Florida. Bevattningsstrategin gick i båda försöken ut på att till bestämda djup, 30 eller 60 cm, återställa uppkomna markvattenunderskott.

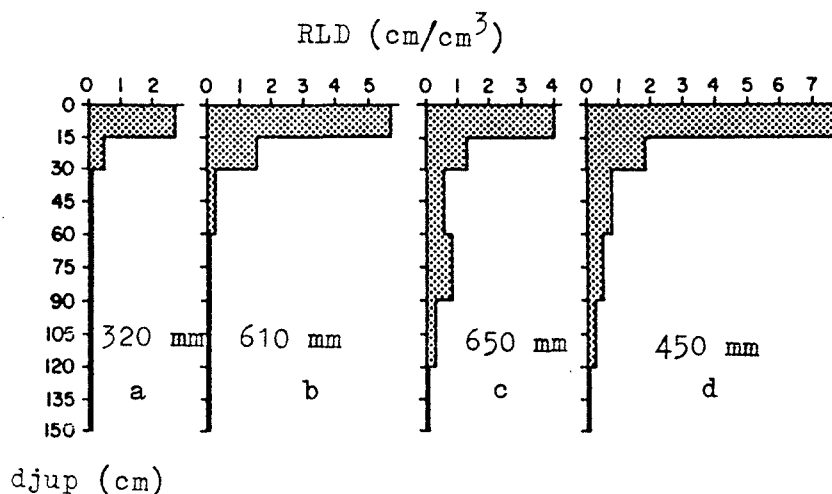
I det ena försöket bevattnades ett led relativt ofta med givor så att marken uppfuktades till 30 cm djup. Totalt bevattnades med 80 mm, nederbörden under säsongen var 340 mm. Kärnsörden i obevattnat led blev 8780 kg/ha medan den i bevattnat led blev 10720 kg/ha. Rotstudier visade att bevattningen medförde bättre rotgenomvävnad i ytliga skikt men också ett betydligt djupare rotsystem (fig. 9). Det var framför allt på djup större än 45 cm som den bevattnade majs hade fler rötter än den obevattnade. Detta berodde enligt författarna på två faktorer orsakade av ett skikt vid 20-30 cm i markprofilen. Skiktet blir i torrt tillstånd mycket hårt och svårögenomträngligt för rötterna. Dessutom uppstår lätt höga aluminiumkoncentrationer i detta skikt vid torka.



Figur 9. Rotfördelningen på olika djup i en sandjord. (Efter Robertson m fl, 1980.)

Det andra försöket som redovisas av Robertson m fl (1980) omfattar fyra försöksled; a) obevattnat, b) bevattning relativt ofta med givor så att marken uppfuktades till 30 cm djup, c) bevattning relativt sällan med givor så att marken uppfuktades till 60 cm djup och d) bevattning relativt sällan med givor så att marken uppfuktades till 30 cm djup. Behandling d innebar att grödan led av viss vattenstress före varje bevattning. Under odlingsssäsongen föll 320 mm nederbörd. Sammanlagt tillfördes dessutom via bevattning i led b 290 mm, i led c 330 mm och i led d 130 mm.

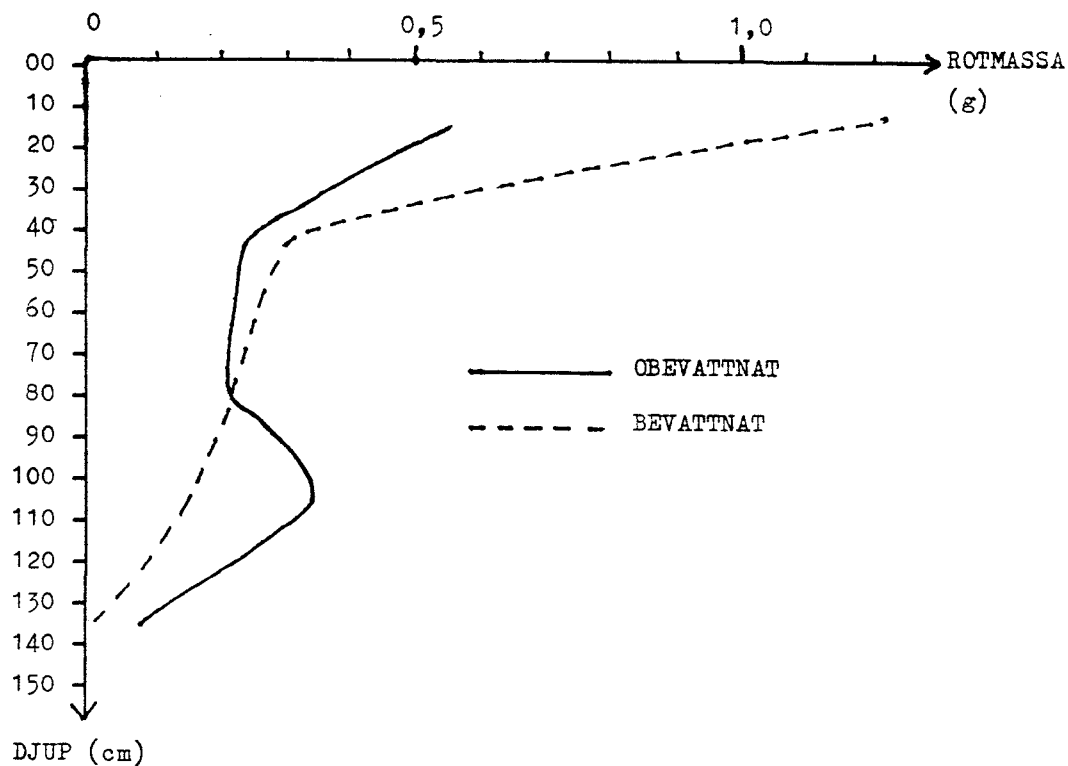
Den rotfördelning som erhöles i olika led visas i fig. 10. Majsen i samtliga tre bevattnade led fick ett större och djupare rotsystem än i obevattnat led. Bevattning relativt sällan och uppfuktning av profilens översta 30 cm, led d, har resulterat i ett djupare och större rotsystem än bevattning relativt ofta med uppfuktning till samma djup. Robertson m fl (1980) drar mot denna bakgrund slutsatsen att majsrotterna ökar i längdtillväxt under torkstress. Kärnsörden för de olika leden a, b, c respektive d var 3260, 7960, 8530 och 6770 kg/ha. Den vattenstress som led a och led d utsattes för resulterade alltså i en skördereduktion.



Figur 10. Rotfördelningen på olika djup efter fyra bevattningsregimer. (Efter Robertson m fl, 1980.)

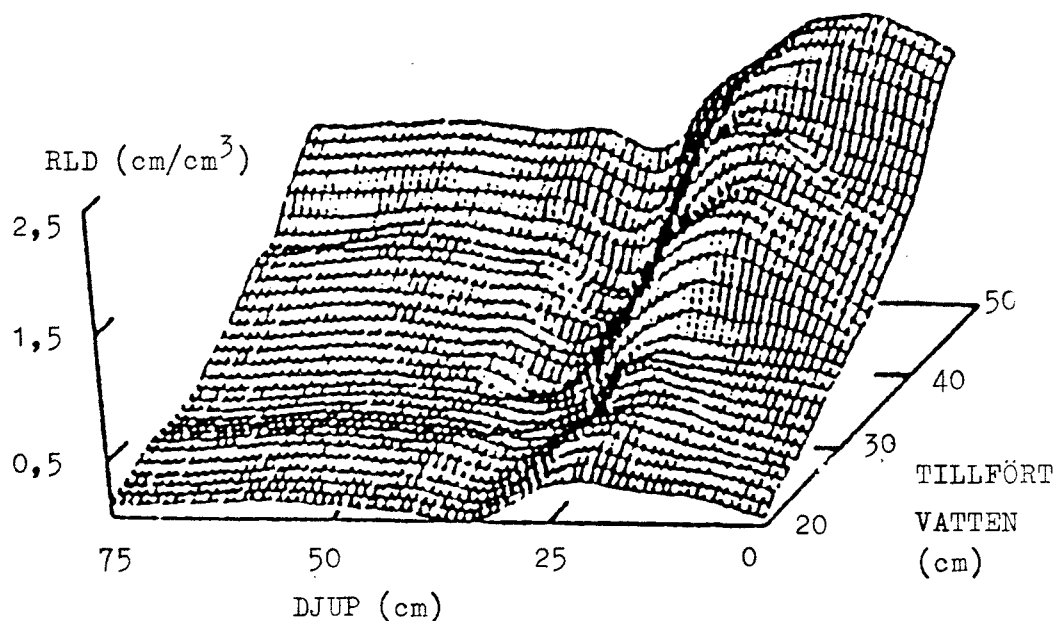
Das (1973) beskriver ett försök med tre olika bevattningsregimer. I ett försöksled bevattnades majsen flera gånger i veckan under hela växtsäsongen. De två övriga leden innebar en giva (under blomning) respektive tre givor (under den vegetativa tillväxten, under blomning samt i mjölk-mognadsstadiet). Det visade sig att med ökad bevattning minskade RLD på alla nivåer djupare än 15 cm. Även Mayaki m fl (1976) beskriver ett bevattningsförsök där rotfrekvensen studerades. Försöket utfördes på en sandig mjälajord i Kansas, USA och försöksleden var 1) obevattnad majs, 2) en giva på 100 mm under majsens vegetativa tillväxt, ytterligare 100 mm vid begynnande honblomning samt strax före mjölk-mognadsstadiet. För bestämning av rotmassan uttogs cylinderprover genom hela profilen (cylinderdiameter 6,7 cm) som sedan delades upp i sektioner på vardera 30 cm. Efter tvättning och torkning vägdes rötterna. Det blev mer rötter djupt i profilen om majsen inte hade bevattnats (fig. 11, observera att massan har markerats i mittpunkten av varje cylindersektion). Den sammanlagda rotmassan från hela cylindern blev dock större i bevattnad majs. Här var 64 % av rotmassan koncentrerad i den översta 30 cm sektionen. Motsvarande siffra för obevattnad majs var endast 39 %. I skiktet 0-90 cm hade bevattnad majs 92 % av sin rotmassa, medan obevattnad hade 70 %.

Dock finns det i litteraturen även beskrivet att bevattning i majs ger en ökning av RLD även på djupare nivåer. Ett försök med sju olika bevattningsregimer på en lerig sandjord i Nigeria gav en markant ökning av RLD med ökad mängd tillfört vatten (fig. 12). Svackan som börjar vid 25 cm djup beror av ett gruslager i nivån 25-60 cm (Aina & Fapohunda, 1986).



Figur 11. Genomsnittlig rotmassa (gram) på olika nivåer i ett cylinderprov med diametern 6,7 cm. (Efter Mayaki m fl, 1976.)

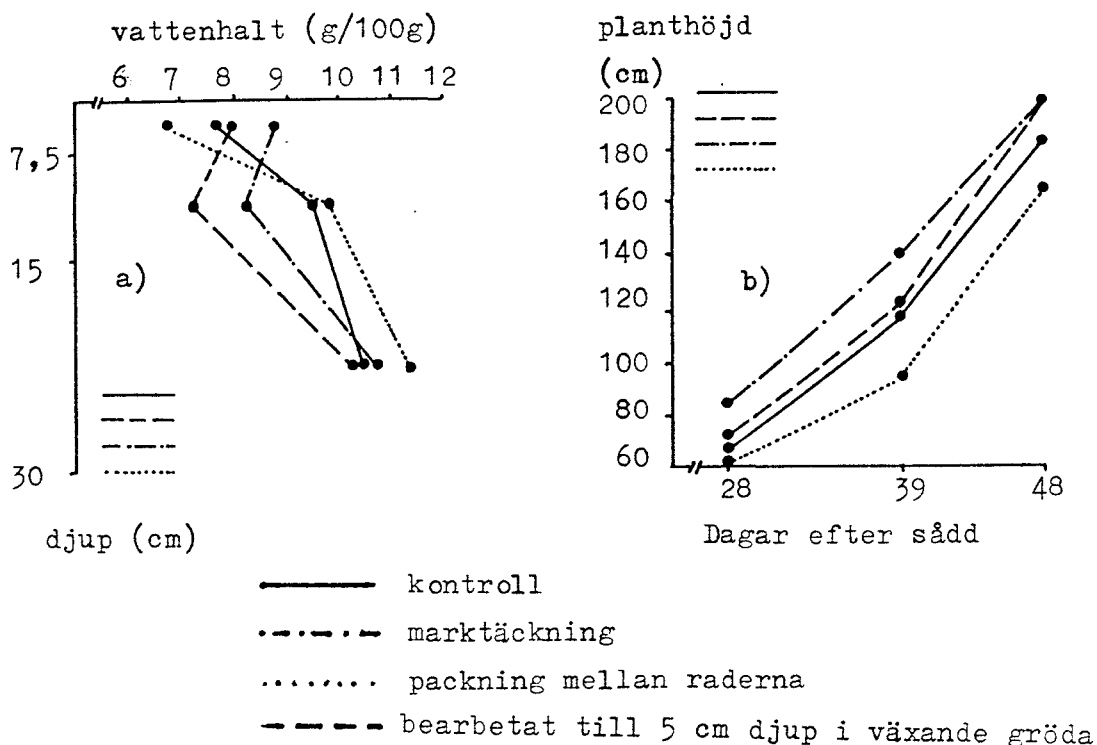
Medan RLD ökar under växstsäsongen blir kvoten längd/massa lägre ju längre plantan kommer i sin utveckling. Bevattning påverkar de båda storheterna likartat och störst blir effekten av bevattning om den sker vid polliner-ring (Aina & Fapohunda, 1986).



Figur 12. RLD som funktion av nivå och tillsatt vattenmängd. (Efter Aina & Fapohunda, 1986.)

Jordbearbetning

Majsens stora produktion av biomassa kräver en väl fungerande vatten- och näringsförsörjning genom ett välutvecklat rotsystem. Minskad markpackning och marktäckning är exempel på åtgärder som kan tänkas minska grödans vattenstress och därmed även förbättra den vegetativa tillväxten och produktionen (fig. 13).



Figur 13. a) Markvatteninnehåll i matjorden efter olika behandlingar.
b) Planthöjd i olika behandlingsled 28 - 48 dagar efter sådd.
(Efter Chaudhary & Prihar, 1974.)

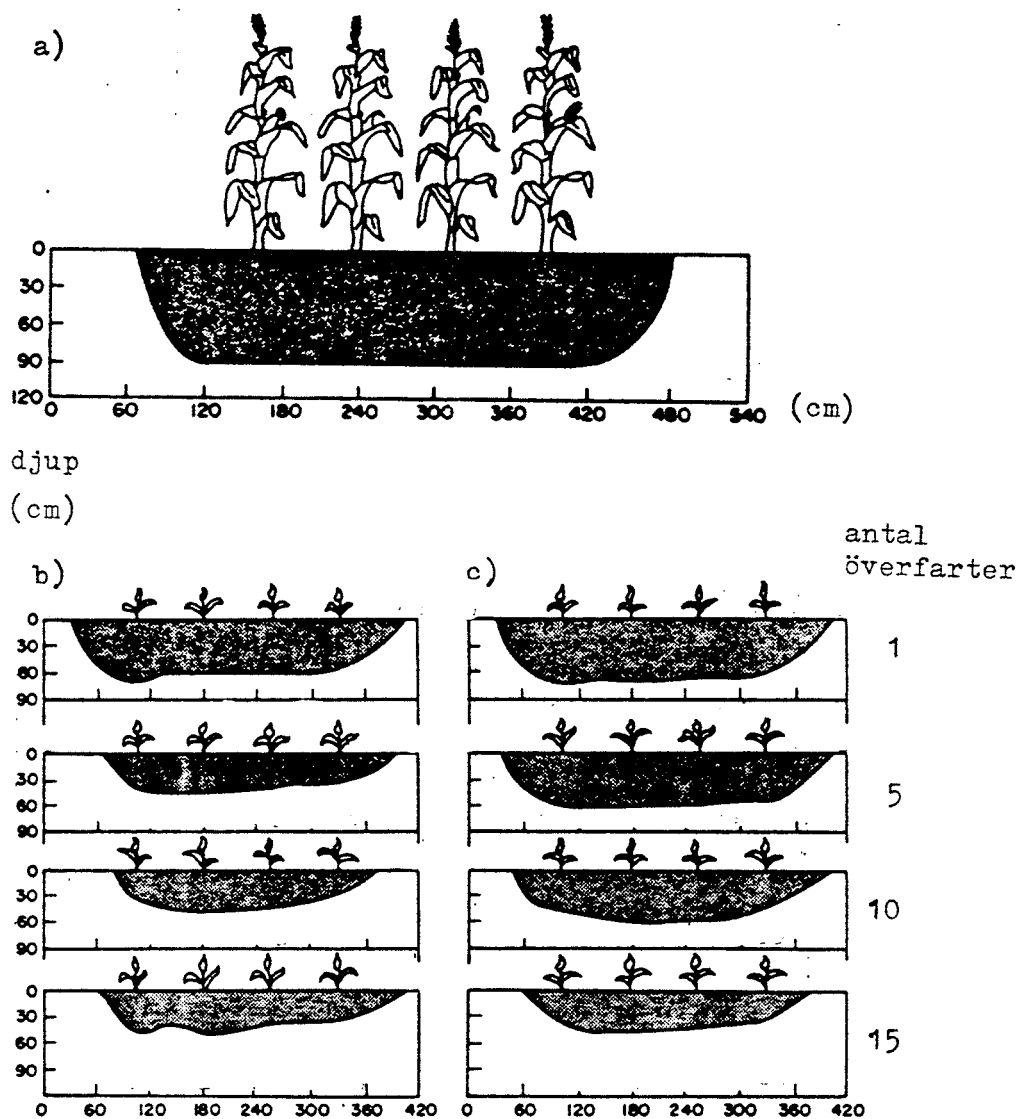
Jordpackning

Flera författare har studerat hur jordpackning påverkar majsens rotsystem (Raghavan & Mc Kyes, 1978; Mason m fl, 1984; Chaudhary & Prihar, 1974; Das, 1973; Grimes m fl, 1975). Något olika metoder har använts, vilket kan förklara varför deras resultat är så olika.

Raghavan & Mc Kyes (1978) studerade hur vattenhalt och rotfördelning påverkades av olika packningsgrad. Det visade sig att vattenhalten i nivån 0-20 cm ökade med ökad kompaktering. Detta relaterades till att rötternas vattenupptagning på denna nivå var begränsad samt att perkolationen minskade pga packningen. Fig. 14 a-c illustrerar hur rötternas utbredning påverkades av deras olika behandlingar.

Mason m fl, (1984) fann dock att majsrötterna bredde ut sig lika mycket oavsett bearbetningsgrad; inte ens försöksledet med minimal markpackning stimulerade till ett mer djupgående rotsystem.

Markpackning i kombination med olika bevattningsregimer har beskrivits av Das (1973). Oavsett packningsgrad var rötternas utveckling likartad den första månaden, därefter blev rötterna tydligt förhindrade i sitt djupgående om jorden var packad. Bevattning med täta intervall ökade den totala rotlängden om jorden var packad, men minskade den totala rotlängden om jorden inte var packad. Vid bevattning med långa intervall var RLD i matjorden densamma oavsett packningsgrad. Med den mest intensiva bevattningen ökade däremot RLD signifikant i matjorden.



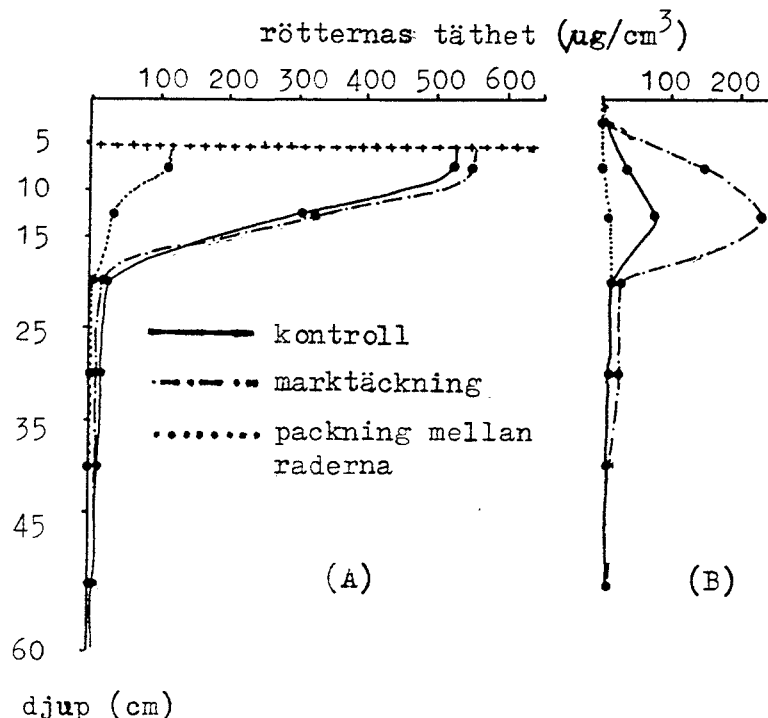
Figur 14. Majsens rotfördelning vid skörd. a) Utan packning. b) Efter packning genom 1, 5, 10 och 15 överfarter med 0,42 kPa före sådd. c) Efter packning genom 1, 5, 10 och 15 överfarter med 0,42 kPa efter sådd. (Efter Raghavan & McKyes, 1978.)

Med packning mellan raderna fick Chaudhary & Prihar (1974) majsrötterna att tydligt tillväxa nedåt istället för att sprida ut sig lateralt. Den totala rotvolymen blev mindre än i kontroll-ledet. I motsats till Das (1973) fann Chaudhary & Prihar att skillnaden mellan rotutvecklingen i obehandlad respektive packad jord var störst i början av säsongen.

Marktäckning

Täckning av marken med PVC-plast eller fiberduk gör att majsens etablerar sig bättre och ger en högre skörd (Åvall, 1987; Aldrich m fl, 1978).

Chaudhary & Prihar (1974) jämförde majsens rotutveckling under ett 2 cm tjockt halmtäcke med rotutvecklingen utan marktäckning. Med halmtäckning minskade avdunstningen och markfuktigheten bevarades bättre i matjordens övre skikt (fig. 13). Detta gjorde att rötterna spred ut sig lateralt och fick en större total rotvolym (fig. 15). Även kärnsköörden blev högre än i kontrollet.



Figur 15. Rotfördelning hos 40 dagar gamla majsplanter i såraden (A) och 10 - 35 cm från såraden (B). (Efter Chaudhary & Prihar, 1974.)

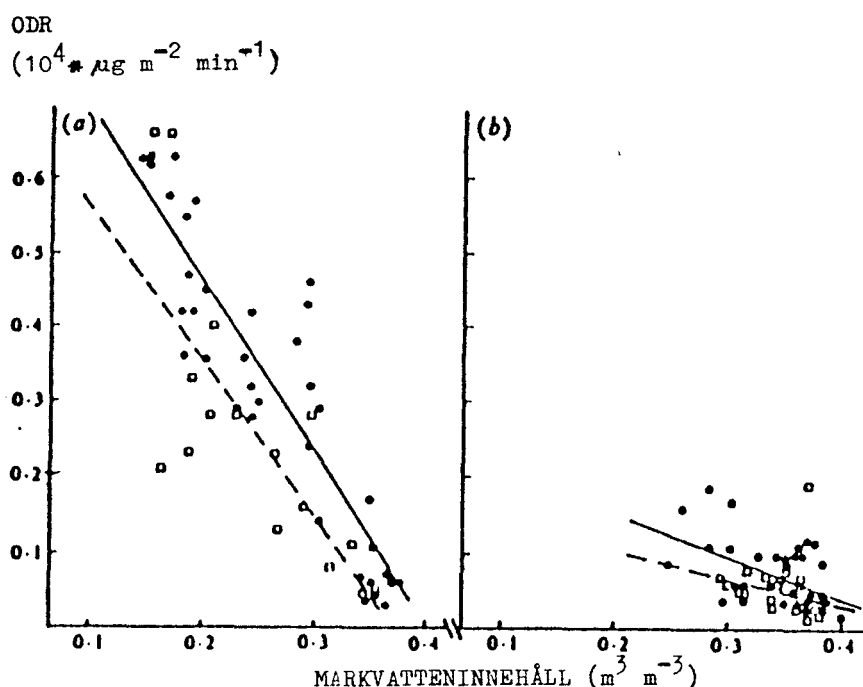
Gödsling

Hur majsrötter påverkas av olika näringstillstånd och vattenhalter i marken är inte särskilt väl beskrivet i litteraturen. Zhelev & Pakov (1976) skriver att vid vatteninnehåll motsvarande mellan 40 och 70 % av fältkapacitet utvecklades det största rotsystemet då kvoten N/P var 1. I ett annat försök med olika kvävenivåer visade det sig att rotlängden minskade med ökad gödsling (Geisler & Maarufi, 1975). I samma försök jämfördes rotlängden vid två olika vatteninnehåll; 50 respektive 70 % av fältkapacitet. Resultaten blev desamma som ovan, men med en mer uttalad gödslingseffekt vid den torrare regimen. Om kväveabsorptionen relaterades till rotytan visade det sig att markfuktighetsförhållandena hade stor inverkan. Liknande försök utfördes av Zhelev & Pakov (1976) och de fann att majsrötterna reagerade mycket lite på höga gödselgivor oavsett markvatteninnehåll.

ROTUTVECKLING I FÖRHÅLLANDE TILL GASUTBYTE OCH NÄRINGSUPPTAGNING

Rötternas gasutbyte och syreförsörjning har nära samband med markens vattenhalt och porsystem. Vid syrebrist minskar rotaktiviteten vilket får till följd att det blir en minskning i både vatten och näringsupptagning (Singh & Ghildyal, 1986).

Mason m fl (1984) har mätt syrediffusionen i majsens rotzon (på 10 och 30 cm djup) för att se hur syrets diffusionshastighet (ODR, eng: Oxygen Diffusion Rate) ändras under en bevattningscykel (fig. 16). Bevattning skedde antingen genom fårbevattning eller bassängbevattning. På 10 cm djup var ODR signifikant större i fårbevattnad än i bassängbevattnad jord.



Figur 16. Förändringar i syrediffusionen då jorden torkar upp efter att ha bassängbevattnats (---) eller fårbevattnats (—). a = 10 cm djup, b = 30 cm djup. (Efter Mason m fl, 1984.)

Tröskelvärde på ODR för en bra rotutveckling är ca $0,2 \cdot 10^4 \mu\text{g m}^{-2} \text{min}^{-1}$ (Phene m fl, 1976). I försöket ovan (Mason m fl, 1984) uppnåddes detta tröskelvärde efter 1-2 dagar på 10 cm djup. Däremot nåddes det inte någon gång under hela bevattningscykeln på 30 cm djup, vilket skulle innebära att syrebrist här var en för rotutvecklingen ständigt begränsande faktor.

Det är dock troligt att majs har någon form av syreförsörjning från skottet eller förmåga att frigöra energi genom etanolbildning så de klarar syrefattiga förhållanden (Purvis & Williamson, 1972; Letey m fl, 1965; Jensen & Kirkham, 1963; Singh & Ghildyal, 1980).

I Indien, där majs ofta utsätts för översvämning pga monsunregnen (Kamath m fl, 1974), har Singh & Ghildyal (1980) gjort försök med olika hybrid-sorter för att utröna varför vissa klarar syrebristen bättre än andra.

Det visade sig att etanolbildning och rötternas porositet ökade kraftigt vid översvämning, samt att det var stora skillnader mellan olika sorter. Den sort som fick det mest porösa rotsystemet klarade översvämning betydligt längre än övriga sorter. Denna hade även den lägsta etanolproduktionen vilket visar att den inte genomgick anaerob respiration i samma utsträckning som de övriga sorterna.

Inverkan av markluftens sammansättning har studerats av Purvis & Williamson (1972). De gav majsplantor någon av följande behandlingar under 1-4 dagar:

- * 1 % O_2 + 99 % N_2
- * 1 % O_2 + 20 % CO_2 + 79 % N_2
- * 100 % N_2
- * 21 % CO_2 + 79 % N_2
- * översvämmade

De fann att de olika behandlingarna inte gjorde någon skada om de varade mindre än 1 dygn. Med 1 % O_2 gulnade de nedre bladen efter 4 dygns behandling, men redan efter 2 dygn blev det bladskador i övriga gasblandningar. Skadorna i gasblandningen 21 % CO_2 + 79 % N_2 liknade de som fås vid vattenstress med dehydratiserade fläckar, dvs gas hade intagit vattnets plats i cellerna. Översvämning medförde heller ingen märkbar effekt om den varade 1 dygn, därefter liknade skadorna de som erhöles vid ren N_2 behandling. Det kan tyckas märkligt att skadorna inte istället var av samma art som de som uppstod på plantor behandlade med 21 % CO_2 + 79 % N_2 eftersom koldioxid avgavs av respirerande rötter och markens mikroorganismer. Troligen blev koldioxidandelen ändå inte så hög som 21 % ens efter 4 dygns översvämning. Skador på majsplantor som utsätts för långvarig översvämning är således orsakade av syrebrist snarare än koldioxidförgiftning (Purvis & Williamson, 1972).

Om ingen syrebrist föreligger kan majs t o m ha fördel av att koldioxidkoncentrationen är hög (Unger & Danielsson, 1965, Grable & Danielsson, 1965). Det visade sig i försök av Aubertin & Kardos (1965) att majsrötterna växte bättre om syrekoncentrationen var 10 % istället för "normala" 21 %. Vid 5 % O_2 växte rötterna lika bra som vid 21 % och först vid så lite O_2 som 2,5 % tog rötterna skada.

Singh & Ghildyal (1980) undersökte även hur näringsupptagningen påverkades av syrebrist orsakad av översvämning. Upptagningen av kväve och kalium minskade tydligt medan fosforupptagningen istället ökade signifikant om översvämningen varade 72 timmar. Behandling under kortare tid gav ingen effekt, och upptagningen av kalcium och magnesium påverkades över huvud taget inte av översvämningen (tab. 1).

Minskningen i N-upptagning förklarar författarna med den kvävereduktion som sker under anaeroba förhållanden. Denitrifikationsbakterierna behöver en viss tid på sig innan deras aktivitet blir märkbar, därför syns ingen effekt förrän efter 72 timmars syrebrist (tab. 1).

Järnhydroxid till vilken fosfat är bunden ($Fe(OH)_3 PO_4$) löses upp då Fe^{3+} reduceras vid syrebrist vilket får till följd att fosfor blir mer lättillgängligt för rötterna och upptaget ökar (Singh & Ghildyal, 1980).

Tabell 1. Näringsinnehåll i majsplantor som översvämmats under 0, 24, 48 och 72 timmar. (Efter Singh & Ghildyal, 1980.) ¹⁾

Näringsämne	Kontroll	24 timmar	48 timmar	72 timmar
N	2,21	2,20	2,08	1,80
P	0,45	0,46	0,49	0,73
K	3,21	3,20	3,01	1,93
Ca	0,24	0,24	0,22	0,22
Mg	0,21	0,20	0,20	0,20

1) Enhet ej angiven i källan, troligen viktprocent av torrsubstans.

EGNA UNDERSÖKNINGAR

MATERIAL OCH METODER

I anslutning till en försöksserie rörande effekterna av bevattning under olika utvecklingsstadier i majs gjordes under sommaren 1988 undersökningar av majsens rotutveckling. Rotstudier utfördes vid tre utvecklingsstadier på två platser i sydligaste Sverige, Lönnstorp och Ugerup. Jordarten på Lönnstorp är moränlera och på Ugerup sandjord (djupdiagram över textur och volymsförhållanden för provplatserna återfinns i bilaga 1). Rotstudierna utfördes vid följande utvecklingsstadier;

- * ca 14 dagar efter uppkomst
- * strax före blomning
- * avslutad blomning

På sandjorden jämfördes rotutvecklingen i obevattnad och bevattnad majs. Eftersom det på lerjorden inte förekom någon bevattning studerades där endast ett led. "Tyvärr" var 1988 ingen bra sommar för bevattningsstudier; endast två gånger behövde majsens vattnas (diagram över beräknad markvattenbalans återfinns i bilaga 2 och uppgifter om temperatur och nederbörd i bilaga 3). Detta skedde första gången före blomning (20 juni) och givan var 28 mm. Nästa tillfälle då markvattenunderskottet var stort nog för att motivera bevattning inträffade under blomning (11 augusti) och givan var då 19 mm.

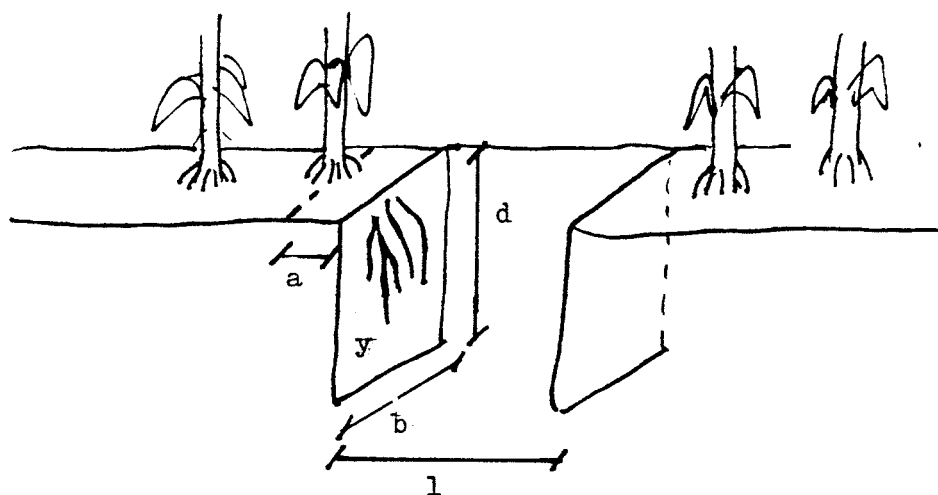
Metodbeskrivning

En enkel och inte alltför tidskrävande metod för fältstudier av rotutvecklingen i stråsäd har utarbetats och beskrivits av Johansson & Gustafsson (1988). Denna metod har använts i denna undersökning med några mindre modifikationer med hänsyn till majsens rad- och plantavstånd. Utrustningen är mycket enkel och består av spade, kniv och tumstock.

Varje provgrävning inleddes med noteringar om grödans höjd och utvecklingsstadium. En yta på ca 1 x 1 meter med såraden i mitten markerades. En grop som begränsades av den markerade ytan grävdes till ett djup 20 cm större än maximalt rotdjup (fig. 17, djupet d). Eftersom rötterna syntes relativt tydligt redan vid grävningen av gropen var det oftast ingen svårighet att avgöra det maximala rotdjupet.

Avståndet till närmaste planta påverkar naturligtvis rotfrekvensen avsevärt, särskilt ytligt i profilen. Det vertikala snittet (profilväggen) lades 6 cm från den majsplanta som skulle studeras. Detta avstånd var lämpligt med hänsyn till frampreparering och möjligheten att studera rot-systemets översta delar. Gropens bredd (b) gjordes till ca 1 m, men endast 75 cm (med plantan i mitten) användes till rotstudierna. Den studerade ytan (y) var således 75 cm x maximala rotdjupet. Längden (l) har anpassades så att det gick att sitta någorlunda bekvämt när rötterna räknades.

Noteringar om intryck av fuktighet och struktur gjordes då gropen var grävd. Därefter påbörjades framprepareringen av rötterna. Med början längst ner, 20 cm under maximalt rotdjup, petades 1 cm jord bort från delytan, 20 x 75 cm. Om det i nedre delen av denna horisont hittades rötter som antogs härröra från årets gröda fördjupades gropen ytterligare.



Figur 17. Grop med profilytan (y), djupet (d), bredden (b), längden (l) samt ytans avstånd till plantan (a).

Från och med maximalt rotdjup och uppåt markerades jämna 10 cm-nivåer (fig. 18). Maximalt rotdjup mättes och noterades, varefter antalet rötter i den nedersta nivån räknades. I exemplet nedan (fig. 18) skulle således noteringen blivit: Max rotdjup 75 cm, skiktet 70-80 cm, 1 rot.

Förutom antalet rötter noterades färg, kondition, förgreningar, rothår, sidorötter (frekvens och längd) samt typ av rötter (frörötter, kronrötter eller stödrötter). Dessutom beskrevs eventuella avvikelser, exempelvis horisontella rötter eller kraftiga förgreningar.

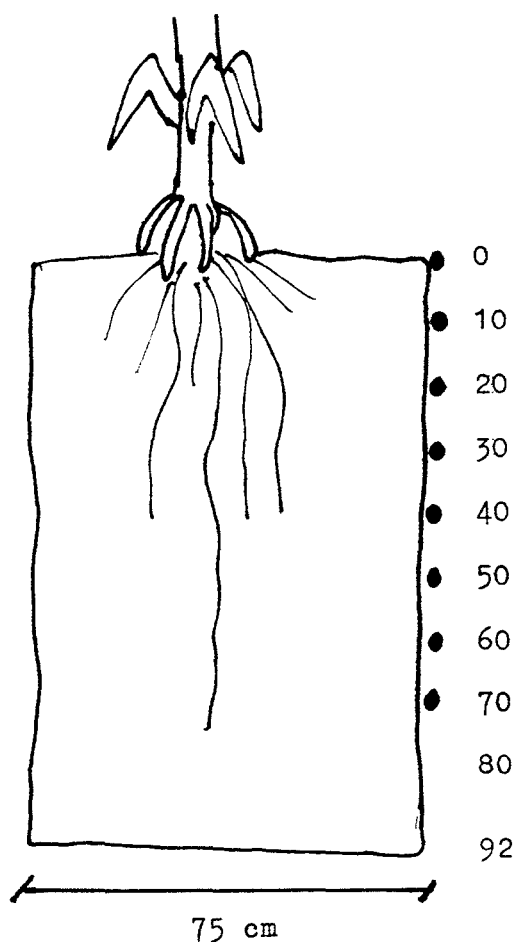
När nedersta nivån var klar fortsatte framprepareringen av rötterna i 10 cm-skiktet ovanför. Prepareringen gick till på samma sätt här med bortpetning av 1 cm jord från delytan 10 x 75 cm. Samma typ av noteringar gjordes.

Preparering och studie av rötter i skiktet 0-10 cm var besvärlig. Rötterna var här nästan alltid omöjliga att räkna. För att ändå få en så god bild som möjligt av rotfrekvensen togs då rotklumpen försiktigt upp och det totala antalet rötter kunde räknas. Till den nivån har alltså även räknats rötter som inte hade växt mot profilytan. Även stödrötterna, som utgick från stammen ovanför markytan räknades till denna nivå.

Om ljusförhållandena tillät, fotograferades hela vertikalsnittet innan rotklumpen togs upp. Dessutom fotograferades rotklumpen före och efter upptagning.

På moränleran studerades endast en profilyta vid varje tillfälle. Gropen täcktes sedan över med svart PVC-plast i markplanet. Nästa gång kunde alltså samma grop fördjupas, men förlängdes med ca 50 cm så att en opåverkad yta kunde prepareras fram.

Eftersom sandjorden var mycket lättgrävd gjordes där nya gropar vid varje tillfälle. Vid första provgrävningen (I), innan någon bevattning satts in, studerades endast ett vertikalsnitt. Vid följande tillfällen (II och III) gjordes en studie i vartdera bevattnat och obevattnat försöksled.



Figur 18. Exempel på profilyta med de olika nivåerna markerade med tändstickor.

RESULTAT

Utvecklingsstadier och planthöjd

Som nämnts ovan skulle rötterna studeras första gången 14 dagar efter uppkomst. Därefter före respektive efter blomning. Då det inte alltid var möjligt att komma ut på exakt rätt dag blev tyvärr de två första undersökningstillfällena på Ugerup ett par dagar försenade. Datum för sådd, uppkomst och provgrävningar framgår av tab. 2. Hur långt grödan kommit i sin utveckling vid provgrävningarna framgår av tab. 3.

Tabell 2. Datum för sådd, uppkomst och undersökningstillfällen

	LÖNNSTORP	UGERUP
SÅDD	880505	880525
UPPKOMST	880516	880601
PROVGRÄVNING I	880529	880617
PROVGRÄVNING II	880713	880725
PROVGRÄVNING III	880903	880904

På sandjorden märktes skillnader i grödans utveckling mellan försöksleden endast vid andra provgrävningen. Den obehåtnade majsen hade då i vissa fall börjat svälla i bladvecken, vilket inte förekom bland några av de behåtnade plantorna. Dessa var dock något högre och kraftigare. Däremot var det avsevärda skillnader mellan majsen på de olika jordarna beträffande den vegetativa tillväxten. Detta blev särskilt iögonfallande sent på sommaren, då majsen på Ugerup var mer än en meter högre än på Lönnstorp.

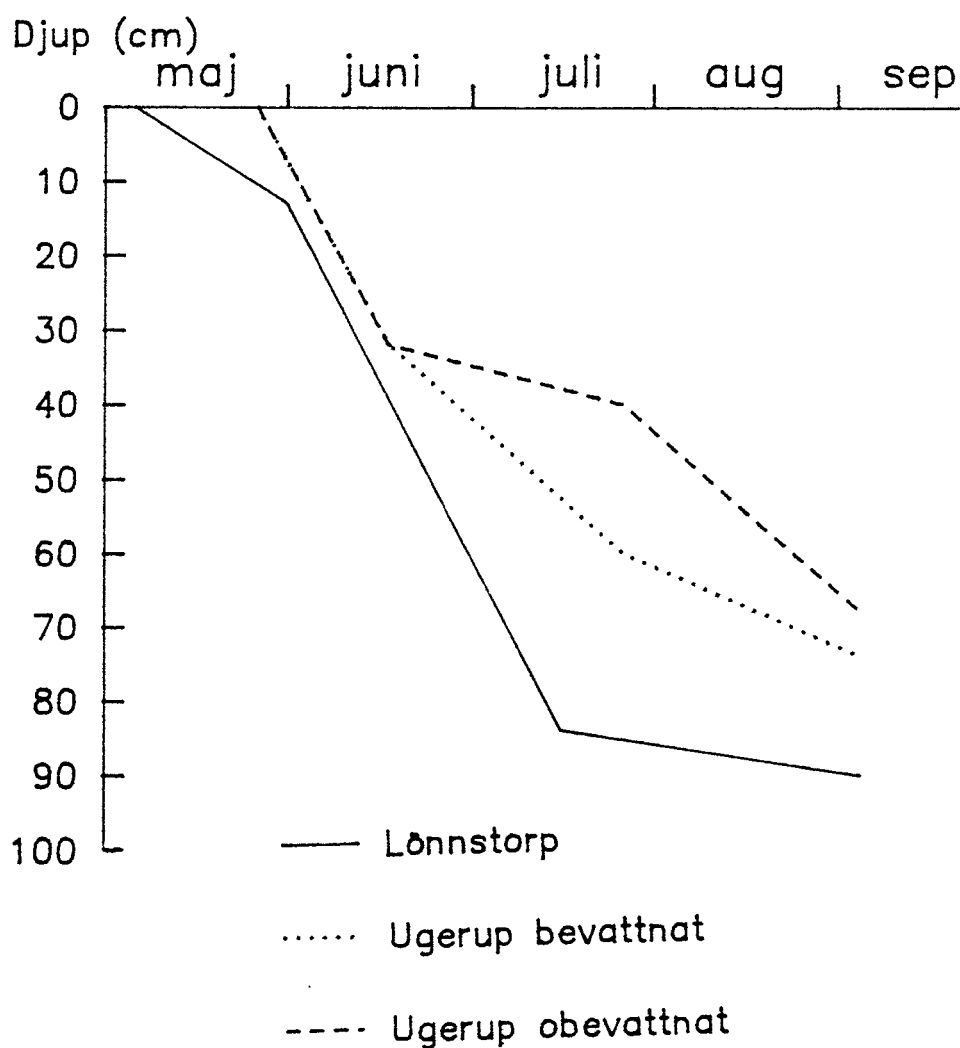
Tabell 3. Grödans utvecklingsstadium och planthöjd vid provgrävningarna

PROVGRÄVNING	GRÖDANS UTVECKLINGSSTADIUM		GRÖDANS HÖJD (cm)	
	LÖNNSTORP	UGERUP	LÖNNSTORP	UGERUP
I	4-blad	6-blad	10	20
II	strax före blomning	strax före begynnande blomning	160	180-200
III	efter blomning	efter blomning	180-200	280-320

Maximalt rotdjup

Trots att den vegetativa tillväxten på sandjorden var kraftigare än på lerjorden, var rotsystemet oftast betydligt grundare i sandjorden. Vid första provgrävningen var dock maximala rotdjupet 20 cm mindre på Lönnstorp än på Ugerup (13 respektive 32 cm). Till nästa provgrävning ökade maximala rotdjupet på Lönnstorp till 84 cm och på Ugerup till 40 (obevattnat) respektive 60 cm (bevattnat). Sista gången var maximala rotdjupen 90, 68 respektive 74 cm. Det bevattnade ledet visade alltså ett större maximalt rotdjup än det obevattnade. Sista gången var skillnaden dock liten.

Maximala rotdjupets förändring visas grafiskt i fig. 19. Anmärkningsvärd är den snabba rottillväxten efter sådden på sandjorden. Rötterna i lerjorden visar en betydligt långsammare djuptillväxt i början av sommaren. Därefter sker dock en väldig tillväxt (71 cm) fram till nästa provgrävning. Sedan ökar det maximala rotdjupet med endast 6 cm till sista gången, trots att det rör sig om en något längre tidsperiod.



Figur 19. Maximala rotdjup från tidpunkt för sådd till början av september.

Antal rötter

Något fler rötter noterades i sandjorden än i lerjorden vid provgrävningen ca 14 dagar efter uppkomst (fig. 20 a). Därefter var det generellt fler rötter i lerjorden än i sandjorden i den nedre halvan av profilen. I den övre halvan var det tvärtom, dvs fler rötter i sandjorden än i lerjorden (fig. 20 b-c).

Vid jämförelse mellan de två försöksleden på Ugerup noterades vid provgrävning strax före blomningen ett något större antal rötter i matjorden i obevattnat led. Efter blomning var rotantalet i hela profilen större i obevattnat än i bevattnat led.

I följande fall var det omöjligt att räkna rötterna:

- * Ugerup II 0-10 cm
- * Ugerup III 0-10 cm
- * Lönnstorp III 0-30 cm

I sandjorden var det i den översta nivån en tät matta av oräkneliga tunna rötter. Antalet grövre kronrötter kunde vid provgrävning II räknas till 32 i obevattnat led och 22 i bevattnat led. Vid provgrävning III var det endast stödrötter som med säkerhet kunde räknas.

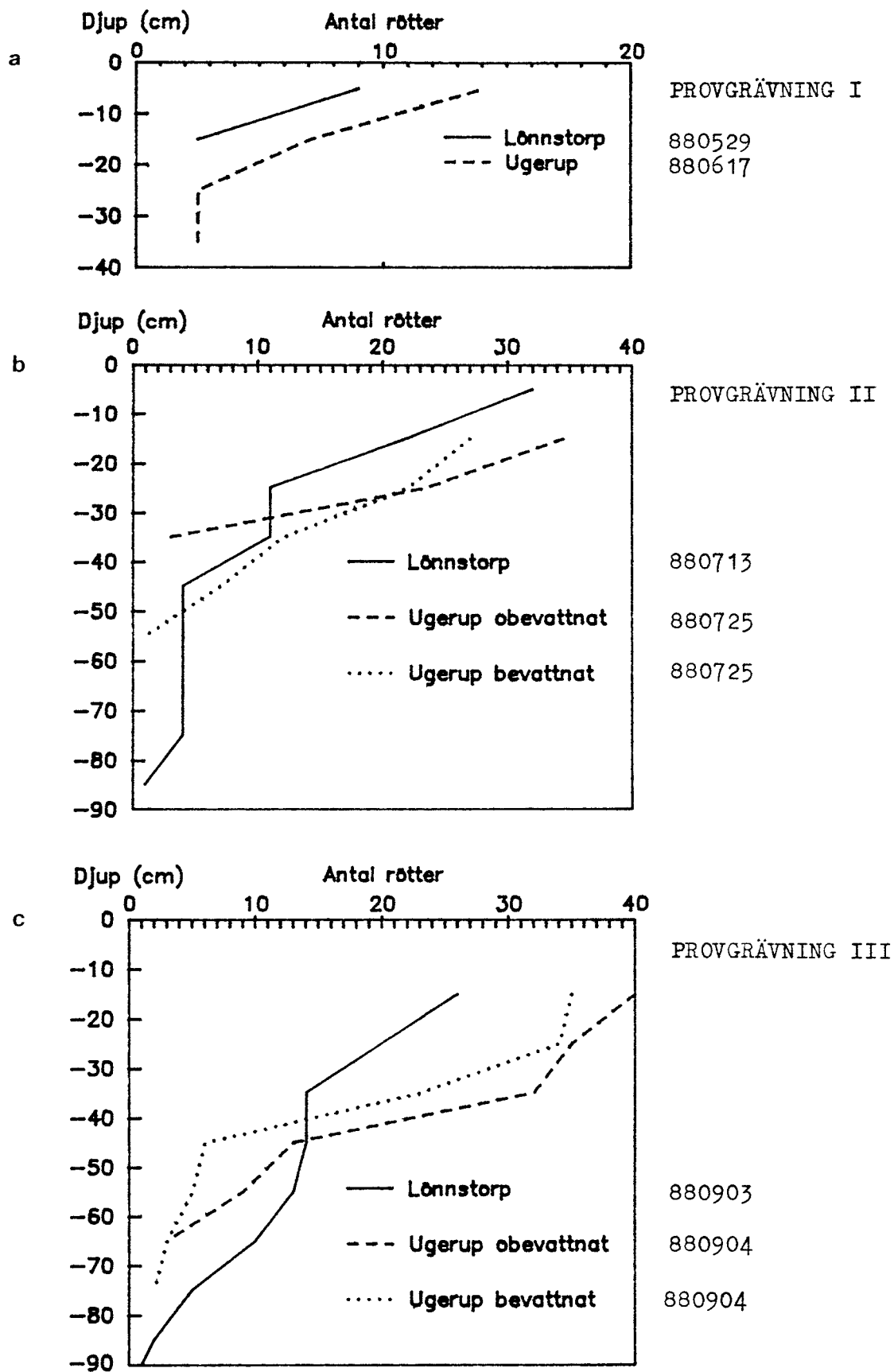
Vid den tredje provgrävningen på Lönnstorp bestod problemet i att det i nedre delen av matjorden fanns ett oräkneligt stort antal mycket tunna rötter slutade just här. Antalet något grövre rötter var dock samma som i skiktet nedanför. Marken hade hög vattenhalt, särskilt i matjorden, vilket gjorde tunna rötter omöjliga att preparera fram. Översta decimeternivån var som en enda smetig deg.

Frörötterna kunde urskiljas ordentligt endast i början av sommaren. I tab. 4 visas fördelningen mellan frö- och kronrötter vid första provgrävningen.

Det ovan nämnda större antalet rötter i sandjorden består således i att kronrötterna är fler. I tab. 4 har även noteringar om rotlängder lagts in. Som synes är många rötter i sandjordens översta nivå horisontella.

Tabell 4. Frö- och kronrötter 14 dagar efter uppkomst

PLATS OCH SKIKT (cm)	FRÖRÖTTER		KRONRÖTTER	
	ANTAL	LÄNGD (cm)	ANTAL	LÄNGD (cm)
LÖNNSTORP				
0-10	5	7	4	3- 8
10-20	1	13	0	0
UGERUP				
0-10	6	7-30	8	2-30
10-20	5	15	2	15



Figur 20. Antal rötter på olika djup vid de tre provgrävningarna.

Rothår

Rötterna graderades med avseende på rothår enligt följande tregradiga skala; rothår saknas, rothår förekommer sparsamt och rothår förekommer i riklig omfattning. Ofta fanns det i ett och samma decimeterskikt dels rötter som hade mycket tätt med rothår, dels rötter som var helt kala.

Det var framför allt i lerjorden som förekomsten av rothår var synbar (tab. 5). Vid första provgrävningen hittades inga rothår varken på Lönnstorp eller på Ugerup. Inte heller strax före blomning kunde några rothår iakttas på Ugerup, medan det på Lönnstorp förekom rothår i riklig omfattning på vissa nivåer. Efter blomning var mönstret i princip detsamma, bortsett från en viss förekomst på Ugerup i skiktet 50-70 cm, obevattnat led.

Tabell 5. Förekomst av rothår

PROVGRÄVNING OCH SKIKT (cm)	LÖNNSTORP	UGERUP	
		OBEVATTNAT	BEVATTNAT
I	880529	880617	
0-10	saknas	saknas	
10-20	"	"	
20-30	---	"	
30-40	---	"	
II	880713	880725	880725
0-10	saknas	saknas	saknas
10-20	rikligt/saknas	"	"
20-30	saknas	"	"
30-40	"	"	"
40-50	rikligt/saknas	---	"
50-60	" -	---	"
60-70	" -	---	---
70-80	" -	---	---
80-90	saknas	---	---
III	880903	880904	880904
0-10	1)	saknas	saknas
10-20	saknas	"	"
20-30	förekommer sparsamt	"	"
30-40	" -	"	"
40-50	" -	"	"
50-60	rikligt/saknas	rikligt/saknas	"
60-70	förekommer sparsamt	förekommer sparsamt	"
70-80	rikligt/saknas	---	"
80-90	" -	---	---

- 1) Gradering omöjliggjordes pga för hög vattenhalt i marken. Rikligt/saknas innebär att vissa rötter hade tätt med hår medan andra rötter var kala. Alltså ingen gradvis övergång.

Kondition och färg

Det allmänna intrycket vid provgrävningarna var att rötterna syntes vara friska och i god kondition. Undantagen var en torr, brun rot på vardera Lönnstorp och Ugerup vid första provgrävningarna, frörötterna och den djupa roten på Lönnstorp vid andra provgrävningen samt en rot vid tredje provgrävningen på Lönnstorp. I övrigt var alltså rötterna friska och graderades subjektivt i följande grupper;

- * kritvita
- * gråvita
- * gulvita
- * grönlila (ytliga grova rötter)

Tabell 6. Rötternas färg

PROVGRÄVNING OCH SKIKT (cm)	LÖNNSTORP	UGERUP	
		OBEVATTNAT	BEVATTNAT
I	880529	880617	
0-10	gråvita	gråvita	
10-20	gråvita	gråvita	
20-30	---	gråvita	
30-40	---	gråvita	
II	880713	880725	880725
0-10	gulvita ¹⁾	gråvita ²⁾	gråvita ¹⁾
10-20	kritvita-gulvita ³⁾	gråvita	gråvita
20-30	gråvita	gråvita	kritvita
30-40	gråvita	gråvita	kritvita
40-50	gråvita	---	kritvita
50-60	gråvita	---	gråvita
60-70	gråvita	---	---
70-80	gråvita	---	---
80-90	gulvita ⁴⁾	---	---
III	880903	880904	880904
0-10	2), 5)	gulvita ¹⁾	gulvita ¹⁾
10-20	gråvita-gulvita	gråvita	gråvita
20-30	gråvita-gulvita	gråvita	gråvita
30-40	gråvita-gulvita	gråvita-gulvita	gråvita
40-50	gråvita	gråvita	gråvita
50-60	kritvita-gråvita ³⁾	kritvita-gråvita	gråvita
60-70	gråvita-gulvita	gråvita	gråvita
70-80	kritvita-gulvita	---	gulvita
80-90	kritvita	---	---

1) Gäller de flesta kronrötterna. Andra rötter var, liksom eventuella stödrötter, grönlila.

2) Stödrötterna grönlila.

3) Rötter med rothår kritvita, kala rötter gulvita eller gråvita.

4) Lite torr.

5) Bedömning omöjliggjordes pga den höga vattenhalten i marken.

Som framgår av tab. 6 var de flesta rötter gråvita. Det var stor skillnad mellan obevattnat och bevattnat led strax före blomning på Ugerup. Rötterna i den bevattnade jorden var kritvita, medan de i den obevattnade var gråvita.

Som nämnts ovan om förekomsten av rothår, hade vissa rötter rikligt, medan andra rötter på samma nivå saknade rothår. Det var framför allt på de kritvita rötterna rothåren fanns.

Rottjocklek

Det var stora variationer beträffande rötternas diametrar. På en och samma nivå kunde vissa rötter vara så grova som 5-6 mm, medan andra var mindre än 0,5 mm i diameter. Det är därför svårt att sammanfatta resultaten i tabell eller figur. Nedan återges dock kortfattat vissa iakttagelser angående rottjockleken.

Lönnstorp II (880529)

0-10 cm	9 av 28 kronrötter är 5-6 mm. Övriga rötter är omkring 2 mm.
10-40 cm	0,5-4 mm
40-50 cm	Många rötter är < 0,5 mm.
50-80 cm	0,5-3 mm

Ugerup II obevattnat (880617)

0-10 cm	Kronrötterna 5-6 mm. Tätt med rötter < 1 mm (sidorötter).
10-30 cm	Ca hälften av rötterna är 4-5 mm, övriga 1,5 mm.
30-40 cm	1 mm

Ugerup II bevattnat (880617)

0-10 cm	22 av 29 kronrötter är 5-6 mm, övriga kronrötter omkring 2 mm. Tätt med rötter < 1 mm (sidorötter).
10-20 cm	2 rötter är 5-6 mm, övriga är 0,5-2,5 mm.
20-60 cm	0,5-2,5 mm

Lönnstorp III (880903)

0-10 cm	Bedömningar omöjliggjordes pga markens höga vattenhalt.
10-20 cm	2 mm
20-30 cm	Många rötter är < 0,5 mm.
30-90 cm	0,5-2 mm

Ugerup III obevattnat (880904)

0-10 cm	Kronrötterna 3-6 mm.
10-20 cm	2-5 mm
20-30 cm	2-3 mm
30-40 cm	1-1,5 mm, några 5 mm.
40-70 cm	1,5 mm

Ugerup III bevattnat (880904)

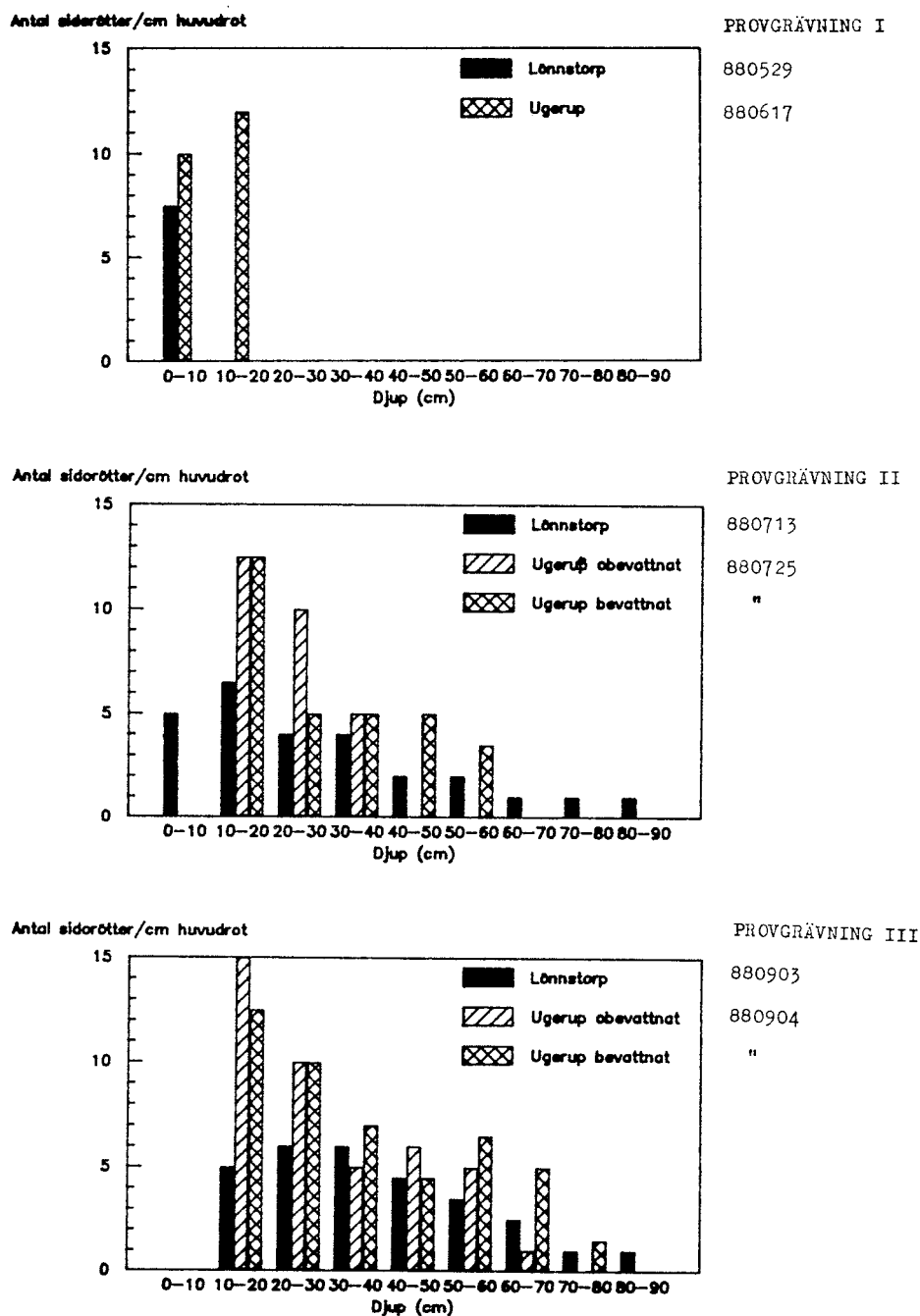
0-10 cm	Kronrötterna 3-6 mm.
10-80 cm	0,5-2 mm

Sidorötter

Sidorötternas frekvens

Antalet sidorötter per cm "huvudrot" varierade från 0 till över 30 (fig. 21). Det största antalet fanns i den övre delen av matjorden på Ugerup. Betydligt färre sidorötter var det i matjorden på Lönnstorp. Vid första undersökningstillfället förekom där överhuvudtaget inga sidorötter på djup större än 10 cm.

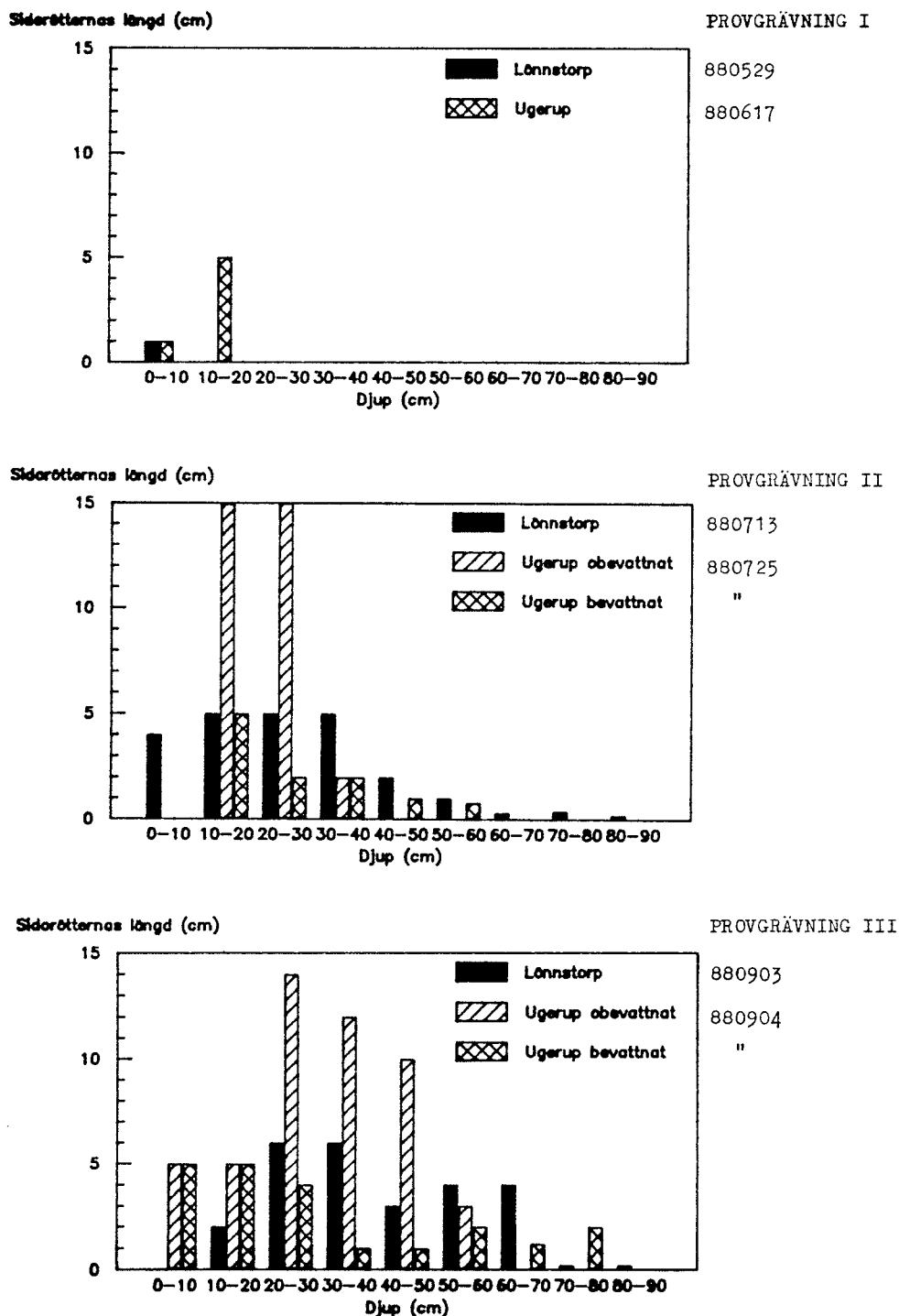
I alven var det däremot inga större skillnader i antal sidorötter mellan provplatserna eller försöksleden. Bortsett från första provgrävningen visar alla profiler ett jämnt avtagande av antalet sidorötter nedåt i profilen (fig. 21).



Figur 21. Antal sidorötter/cm huvudrot i olika skikt vid de tre provgrävningarna.

Sidorötternas längd

Mest anmärkningsvärt beträffande sidorötternas längd var den stora skillnaden mellan obevattnad och bevattnad majs på Ugerup (fig. 22). Särskilt märkant var skillnaden i matjorden strax före blomning, samt på 20-50 cm djup efter blomning. Oftast var sidorötterna längre på Ugerup än på Lönnstorp. Vid provgrävningen i september var sidorötterna endast något längre än i juli, med undantag av några nivåer i obevattnat led på Ugerup.

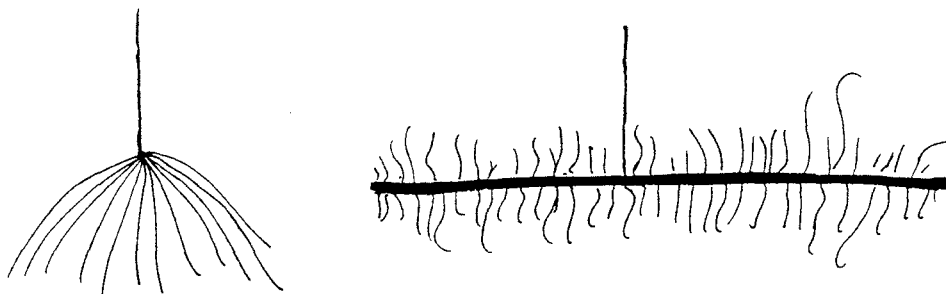


Figur 22. Sidorötternas längd i olika skikt vid de tre provgrävningarna

Rotförgreningar

Rötter som förgrenat sig förekom i mycket liten omfattning. Vid provgrävningen på Ugerup strax före blomning hittades förgreningar i litet antal. Dessa hade något märkliga former (fig. 23 a och b). På djupen 30 cm i obevattnat led och 20 cm i bevattnat led förekom i båda fallen en rot som plötsligt delade sig i många (10-15) grenar (fig. 23 a).

I det obevattnade ledet hittade jag dessutom en annan märkelig typ av förgrening i nivån 20-30 cm. Två tunna vertikala rötter delade sig plötsligt i betydligt grövre, helt horisontella rötter, som i sin tur hade många, långa sidorötter (fig. 23 b). Det kan inte helt uteslutas att denna typ av rot härrör från något ogräs. Det är dock inte kvickrot.

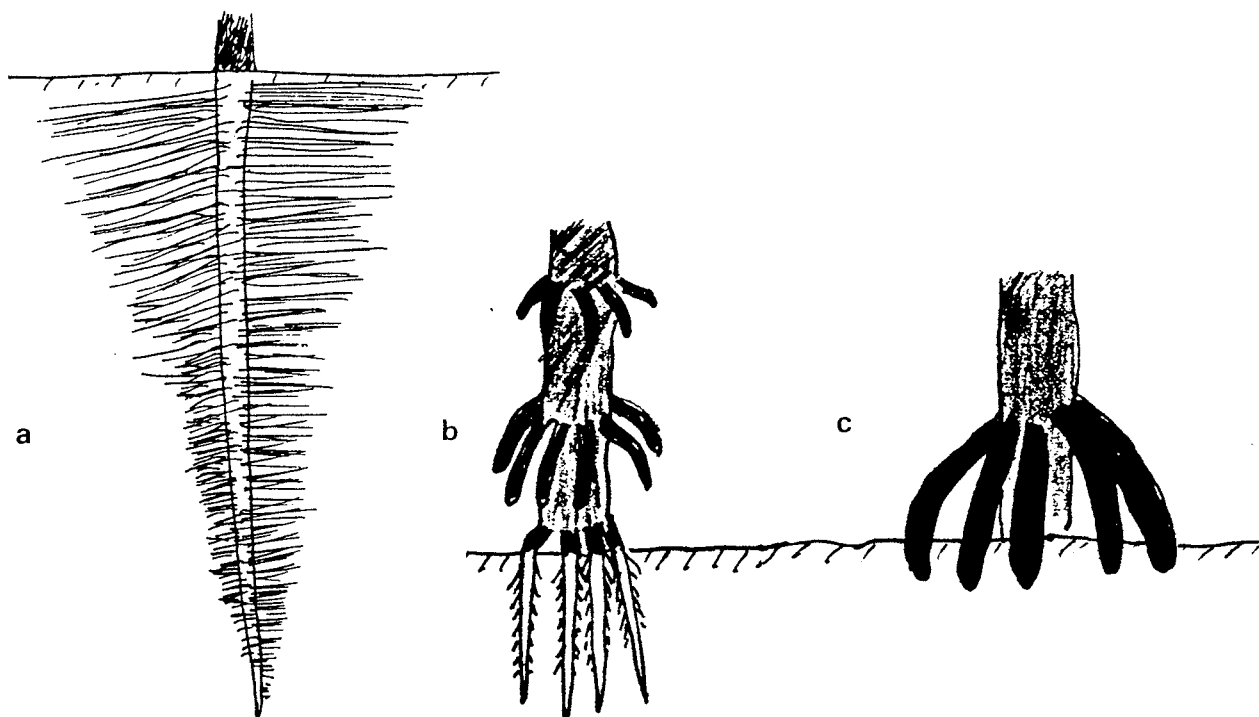


Figur 23. a) På Ugerup strax före blomning förekom denna typ av förgrening på 30 cm djup i obevattnat led och 20 cm djup i bevattnat led.
b) Märkelig förgrening som förekom i två exemplar i skiktet 20 - 30 cm på Ugerup strax före blomning.

Stödrötter

Vid första provgrävningen ca två veckor efter uppkomst hade inga stödrötter utvecklats, men strax före blomning fanns stödrötter med en längd av ca 5 cm på samtliga plantor i bestånden. I september hade plantorna ofta utvecklat stödrötter från mer än en nod, och många av stödrötterna gick djupt ner i marken där de var rikligt försedda med sidorötter (fig. 24 a och b).

Det var dock långt ifrån alla som på det viset smalnade av till en "vanlig" rot, många slutade tvärt på några cm djup (fig. 24 c).



Figur 24. a) Stödrötterna nådde ett djup av 40 cm och var rikligt försedda med sidorötter.
 b) Djupa stödrötter med sidorötter.
 c) Stödrötter som slutade tvärt på några cm djup.

Som framgår av tab. 7 var stödrötterna på Ugerup både fler och längre än på Lönnstorp. Det var framför allt den ovan beskrivna "djupgående" typen med sidorötter som saknades på Lönnstorp.

Tabell 7. Stödrötternas antal och längd vid provgrävningarna strax före respektive efter blomning

PROVGRÄVNING	ANTAL	LÄNGD (cm)
II		
LÖNNSTORP	8	5- 7
UGERUP OBEV.	21	5
UGERUP BEV.	8	2- 5
III		
LÖNNSTORP	14	8-11
UGERUP OBEV.	14+14 ¹⁾	10-20 resp 20-40
UGERUP BEV.	16+18 ¹⁾	5-15 resp 20

1) Från en nod närmare markytan.

DISKUSSION

Rötternas utveckling styrs i stor utsträckning av förhållandena i rotzonen. Faktorer som struktur och porstorleksfördelning i olika skikt samt vatten- och syretillgång bestämmer mer över rotutvecklingen än vad det genetiska materialet gör. Detta är viktigt att ha i åtanke då jämförelser görs mellan rotutvecklingen på sandjord och lerjord. Man bör även tänka på att det är svårare att preparera fram rötter i en lerjord än i en sandjord, vilket kan medföra att rotfrekvensen underskattas på en lerjord.

Rötternas tillväxthastighet varierar under växtsäsongen. Under den vegetativa tillväxten är rottillväxten snabbare än under blomning. Detta var särskilt tydligt på Lönnstorp, där rötterna nästan helt stannade upp i sin tillväxt under tiden som blomning pågick.

Två saker var förvånande vid provgrävningarna: 1) Synliga rothår saknades nästan helt i sandjorden, medan rothår förekom i riklig omfattning i lerjorden. 2) Avsaknandet av förgreningar utöver de enstaka med märkliga utseenden.

Den kompakta alven på Ugerup hindrar rötterna från att tillväxa på djupet och därmed komma åt det vatten som finns djupt i profilen. För sin vattenförsörjning är dessa rötter således i hög grad beroende av regn och/eller bevattning. På Lönnstorp är förhållandena annorlunda. Också här är porvolymer i alven låga, men rötter kan tillväxa mot djupet genom exempelvis sprickor och gamla rotkanaler. Därigenom kan vatten från ett större djup tas upp. Detta är således en förklaring till varför maximala rotdjupet är större på Lönnstorp än på Ugerup.

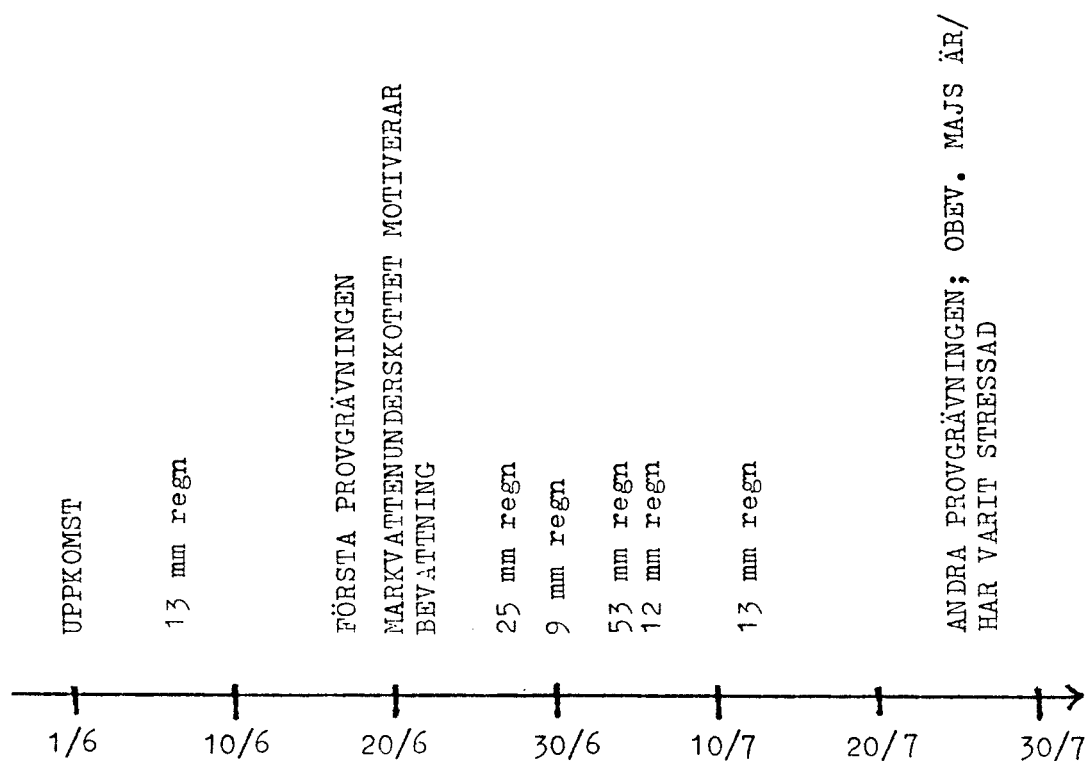
På Ugerup var rotsystemet djupare i det bevattnade ledet än i det obevattnade vilket överensstämmer med resultaten från en undersökning av Robertson m fl (1980). Även denna undersökning utfördes på sandjord och försöksleden var obevattnad och bevattnad majs. Visserligen kunde där en del av skillnaden i rotdjup förklaras med ett skikt som i torrt tillstånd var svårgenomträngligt. I grovkorninga jordar som på Ugerup kan, om vatten inte tillförs via nederbörd eller bevattning, lätt bildas en torrfront som förhindrar fortsatt rottillväxt. Vid ett annat försök utfört av Robertson m fl (1980) erhöles det djupaste rotsystemet i ett försöksled med endast sparsam bevattning. De menar att majsrötterna ökar sin längd om de utsätts för vattenstress. På Ugerup var denna längdökning begränsad till sidorötterna som var betydligt större i obevattnad majs.

Vid den provgrävning som utfördes på Ugerup strax före blomning hade majsen bevattnats vid endast ett tillfälle. Trots denna enstaka bevattningsinsats gjorde flera faktorer intryck av att den obevattnade majsen hade påverkats negativt i jämförelse med den bevattnade:

- * Rotsystemet var mer koncentrerat till matjorden i obevattnat led.
- * Rötterna hos den bevattnade majsen var kritvita.
- * Obevattnad majs hade stoppat upp sin vegetativa utveckling och vissa plantor hade redan börjat blomma.

Rötterna hos den bevattnade majsen var således i bättre kondition än rötterna hos den obevattnade. Bristen på vatten försökte de obevattnade plantorna kompensera med ett tätare rotsystem i matjorden. Detta verkade ändå inte tillräckligt eftersom plantorna föredrog att påbörja sin reproduktion i förtid.

En fråga som är intressant, men svår att besvara, är när majsen var som mest stressad. Som framgår av fig. 25 föll mycket nederbörd mellan första bevattningen och andra provgrävningen.



Figur 25. Tidpunkter för bevattning och nederbörd större än 8 mm under tiden från uppkomst till andra provgrävningen.

Var det en kritisk tid tre veckor efter uppkomst då bevattning sattes in? Kan det "försprång" den bevattnade majsen då fick, ha medfört så stora skillnader som noterades vid provgrävningen en månad senare? Eller kan stressen relateras till tiden runt den 20 juli?

För att med större säkerhet kunna bestämma majsens torkkänsliga stadier krävs mer undersökningar. Försöket och rotstudierna skulle behöva upprepas en sommar med mindre nederbörd. Det vore också lämpligt att studera fler profilytor vid varje provgrävning, samt att dessa sker med betydligt tätare tidsintervall.

LITTERATUR

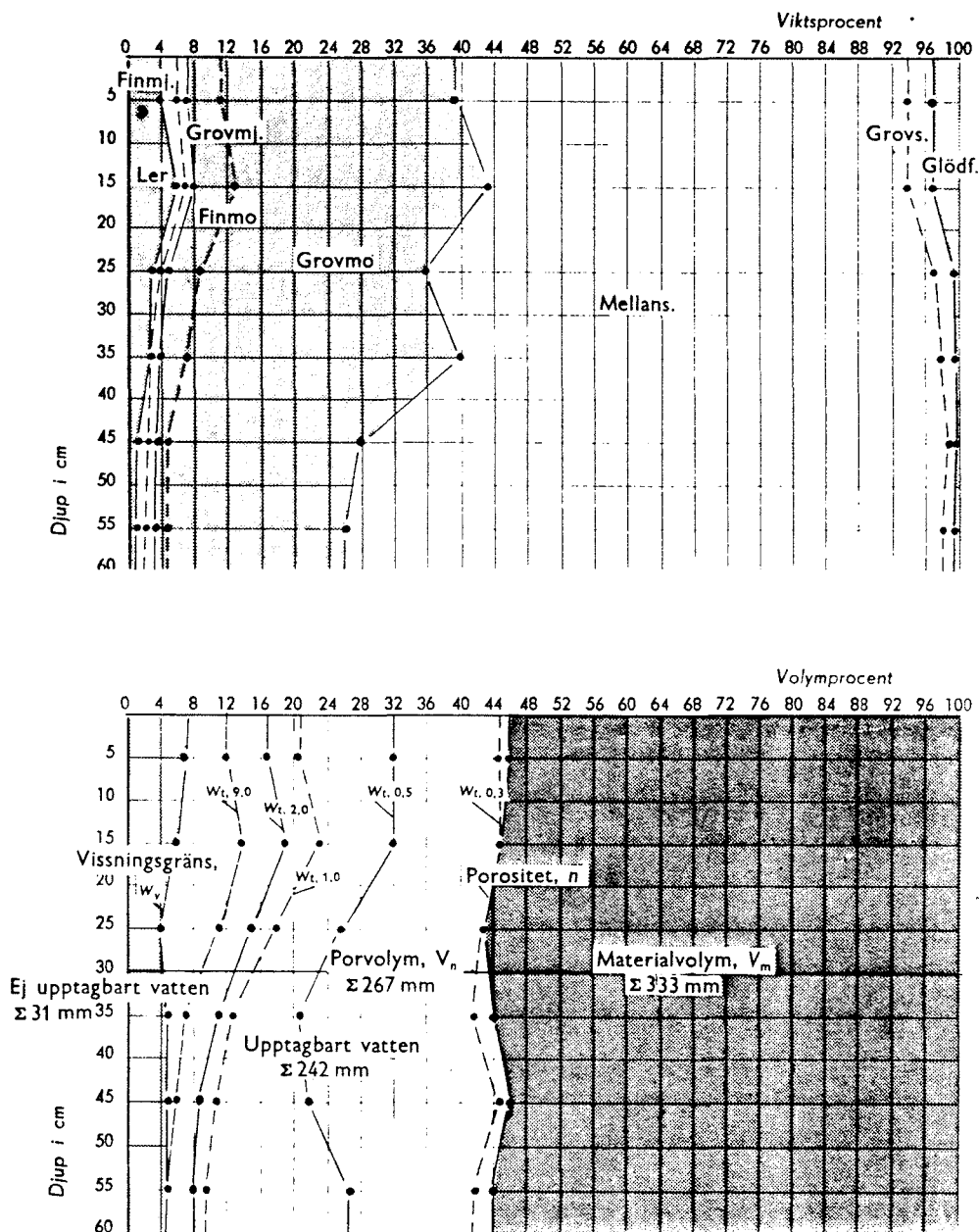
- Aina, P. O. & Fapohunda, H. O. 1986. Root distribution and water uptake patterns of maize cultivars fieldgrown under differential irrigation. *Plant and soil* 94, s. 257-265.
- Aldrich, S. R., Scott, W. O. & Leng, E. R. 1978. Modern corn production. 2:a uppl. Illinois.
- Allmaras, C. A. M. 1975. Soybean and corn rooting in southwestern Minnesota: II. Root distribution and related water inflow. *Soil Science Society of America Proceedings* 39, s. 771-777.
- Andersson, J. E. & Ripa, L. 1983. Majs ett billigt allfoder. *Traktorjournalen* 5, s. 6-7.
- Aubertin, G. M. & Kardos, L. T. 1965. Root growth through media under controlled conditions. II. Effect of aeration levels and rigidity. *Soil Science of America Proceedings* 29, s. 363-365.
- Chaudhary, M. R. & Prihar, S. S. 1974. Root development and growth response of corn following mulching, cultivation, or interrow compaction. *Agronomy Journal* 66, s. 350-355.
- Das, K. C. 1973. Dynamics of corn root growth as affected by compact subsoil and its influence on crop response to irrigation. *Dissertation Abstracts International*, B; 34; 4; 1338; 73-21, 859.
- Geisler, G. & Maarufi, D. 1975. Investigations on the importance of the root system of cultivated plants. I. The influence of the soilwater content and nitrogen manuring on plant growth, root morphology, transpiration and nitrogen absorption. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 141, s. 211-230.
- Grable, A. R. & Danielson, R. E. 1965. Influence of CO₂ on growth of corn and soybean seedlings. *Soil Science Society of America Proceedings* 29, s. 233-238.
- Grimes, D. W., Miller, R. J. & Wiley, P. L. 1975. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. *Agronomy Journal* 67, s. 519-523.
- Jensen, C. R. & Kirkham, D. 1963. Labelled oxygen: increased diffusion rate through soil containing growing corn roots. *Science* 141, s. 735-736.
- Johansson, W. & Gustafsson, E.-L. 1988. Vattenförsörjning, tillväxt och evapotranspiration hos korn på fem lerjordar. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 156. (Manuskript).
- Kamath, M. B., Goswami, N. N., Oza, A. M., Dravid, M. S. & Sen, B. 1974. Rooting behavior of maize (*Zea mays*) under normal and adverse soil conditions. Symposium on use of radiations and radioisotopes in studies of plant productivity. *Abstracts* 112.
- Letey, J., Stolzy, L. H. & Valoras, N. 1965. Relationships between oxygen diffusion rate and corn growth. *Agronomy Journal* 57, s. 91-92.

- Mason, W. K., Small, D. R. & Pritchard, K. E. 1984. Effects of irrigation and soil management for fodder crops on root zone conditions in a red-brown earth. *Australian Journal of Soil Research* 22, s. 207-218.
- Mayaki, W. C., Stone, L. R. & Teare, I. D. 1976. Irrigated and nonirrigated soybean, corn, and grain sorghum root systems. *Agronomy Journal* 68, s. 532-534.
- Milbourn, G. M. (red.). 1975. *Maize growers' handbook*, 3:e uppl. London.
- Newman, E. I. 1976. Water movement through root systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 273, s. 463-478.
- Phene, C. J., Campbell, R. B. & Doty, C. W. 1976. Characterisation of soil aeration in situ with automated oxygen diffusion measurements. *Soil Science* 122, s. 271-281.
- Portas, C. A. M. 1973. Development of root systems during the growth of some vegetable crops. *Plant Soil* 39, s. 507-518.
- Purvis, A. C. & Williamson, R. E. 1972. Effects of flooding and gaseous composition of the root environment and growth of maize. *Agronomy Journal* 64, s. 674-678.
- Raghavan, G. S. V. & McKyes, E. 1978. Effect of vehicular traffic on soil moisture content in corn (maize) plots. *Journal of agricultural Engineering Research* 23, s. 429-439.
- Reicosky, D. C. & Ritchie, J. T. 1976. Relative importance of soil resistance and plant resistance in root water absorption. *Soil Science Society of America Journal* 40, s. 293-297.
- Robertson, W. K., Hammond, L. C., Johnson, J. T. & Boote, K. J. 1980. Effects of plant-water stress on root distribution of corn, soybeans and peanuts in sandy soil. *Agronomy Journal* 72, s. 548-550.
- Singh, R. & Chidyal, B. P. 1980. Soil submergence effects on nutrient uptake, growth, and yield of five corn cultivars. *Agronomy Journal* 72, s. 737-741.
- Taylor, H. M. & Klepper, B. 1973. Rooting density and water extraction patterns for corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal* 72, s. 737-741.
- Unger, P. W. & Danielson, R. E. 1965. Influence of oxygen and carbon dioxide on germination and seedling development of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal* 57, s. 56-58.
- Veen, B. W. 1977. The uptake of potassium, nitrate, water, and oxygen by a maize root system in relation to its size. *Journal of Experimental Botany* 28, s. 1389-1398.
- Zhelev, R. & Pakov, I. 1976. Effect of soil moisture and proportion between nitrogen and phosphorus on development of root system and leaf chlorophyll contents of maize. *Rasteniev"dni Nauki* 9, s. 43-50.
- Åvall, H. 1987. *Sockermajs. Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. Konsulentavdelningens rapporter. Trädgård* 317.

KORNSTORLEKSFÖRDELNING OCH VOLYMSFÖRHÅLLANDEN

U G E R U P

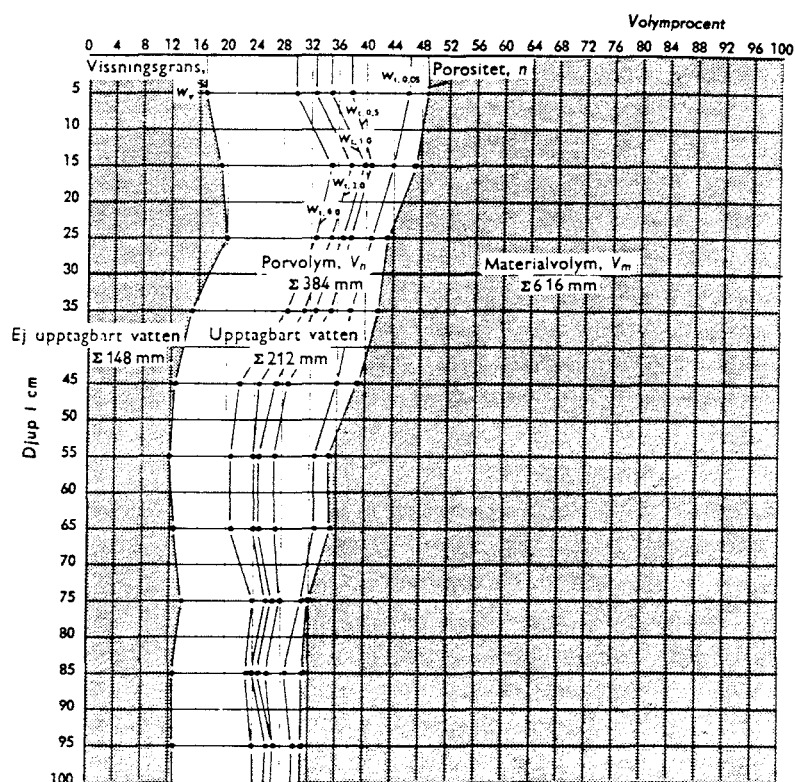
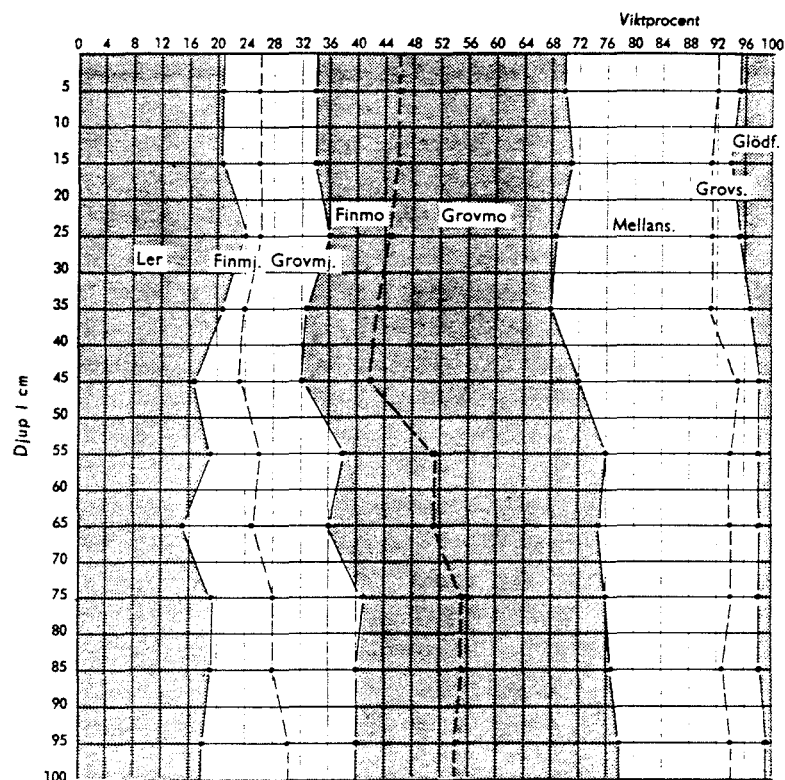
Matjorden på försöksplatsen är en måttligt mullhaltig svagt lerig sandjord (ler 4 %, mj 2 %, mo 29 %, sa 63 % och mull 2 %). Jordarten i alven är en svagt lerig moig sand (ler 4 %, mj 2 %, mo 29 % och sand 65 %). Jordprover som ligger till grund för nedanstående diagram är tagna 200 meter söder om försöksplatsen.



Wiklert, P., Andersson S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering, Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktsammanställning. Del XI: Kristianstad län. Rapport 137, Avd för lantbrukets hydroteknik, SLU, Uppsala.

KORNSTORLEKSFÖRDELNING OCH VOLYMSFÖRHÅLLANDEN

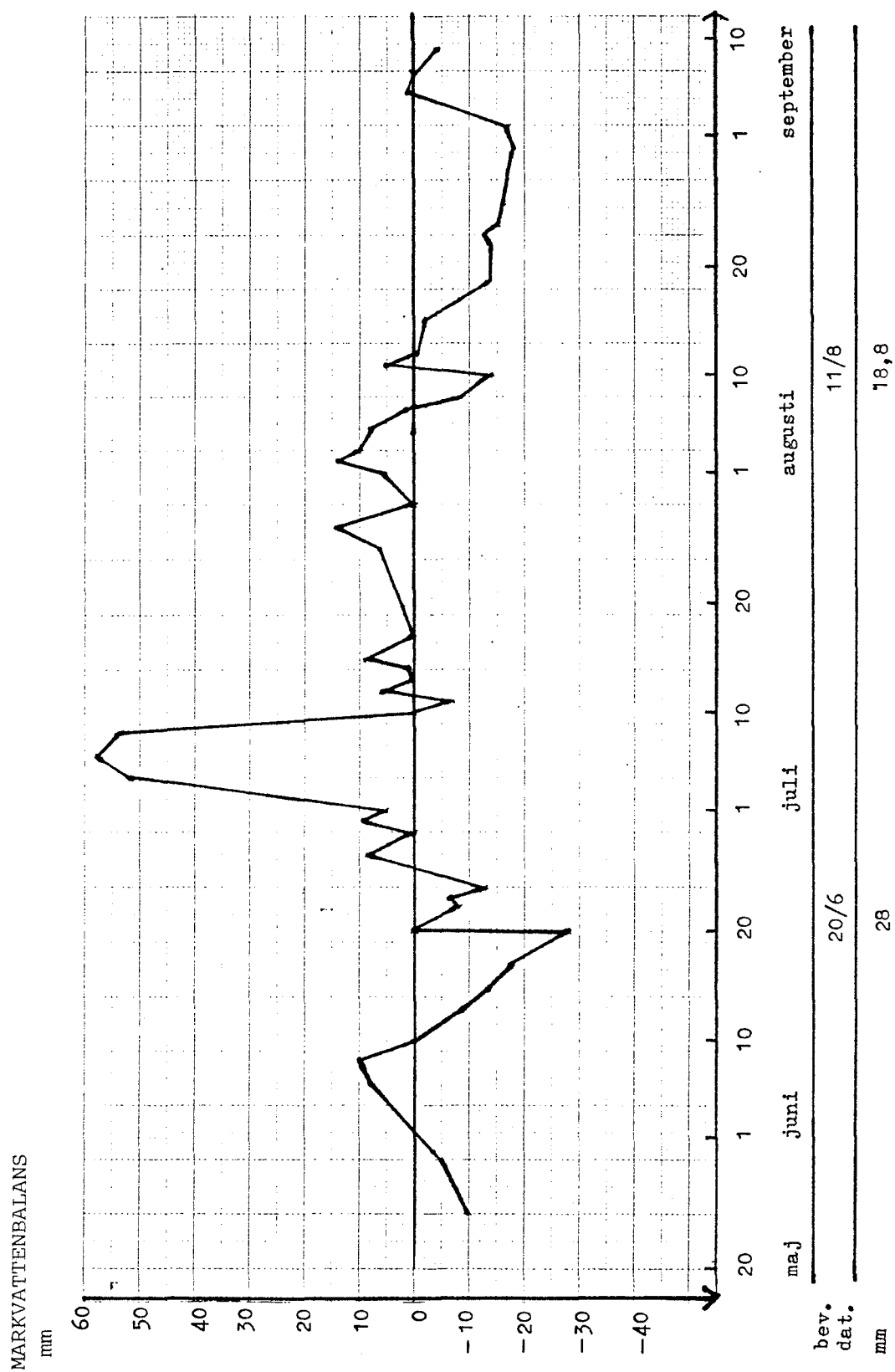
L Ö N N S T O R P



Gustafsson, E.-L. 1987. Marktäckning. Effekter på olika jordtyper. Rapport 155, Avd för lantbrukets hydroteknik, SLU, Uppsala.

BERÄKNAD MARKVATTENBALANS

UGERUP 1988-05-25--09-09. Bevattnat försöksled

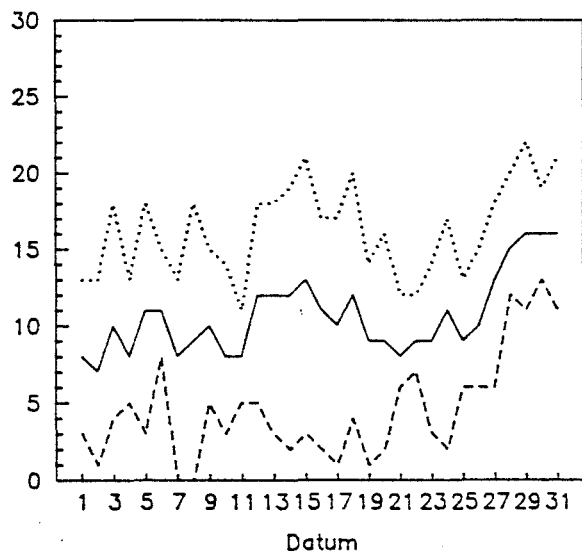


TEMPERATURFÖRHÅLLANDEN

U G E R U P MAJ-AUGUSTI 1988

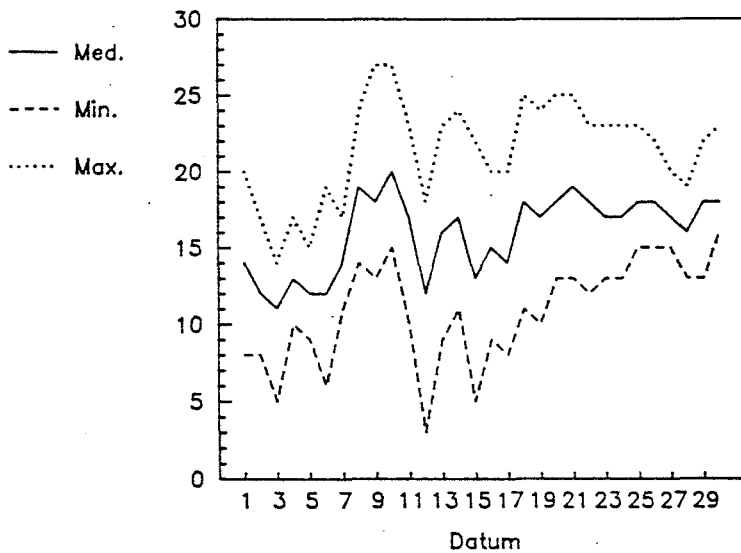
maj 1988

Temperatur (°C)



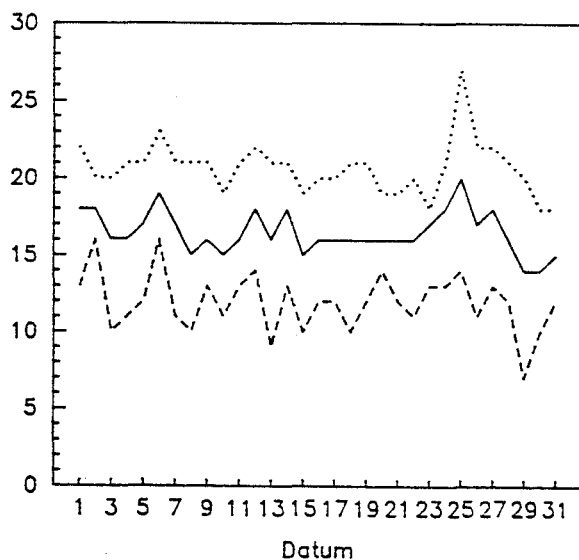
juni 1988

Temperatur (°C)



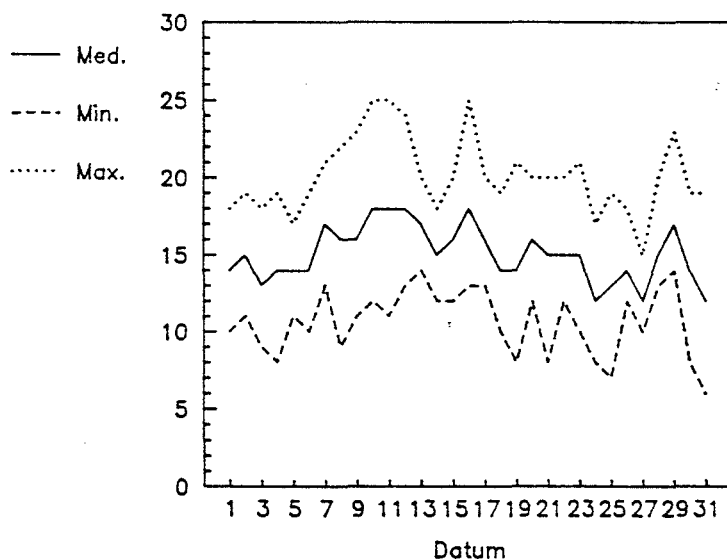
juli 1988

Temperatur (°C)



augusti 1988

Temperatur (°C)

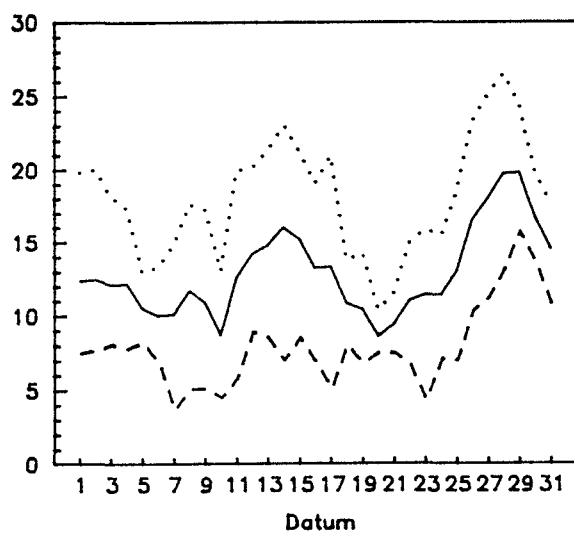


TEMPERATURFÖRHÅLLANDEN

L Ö N N S T O R P MAJ-JULI 1988

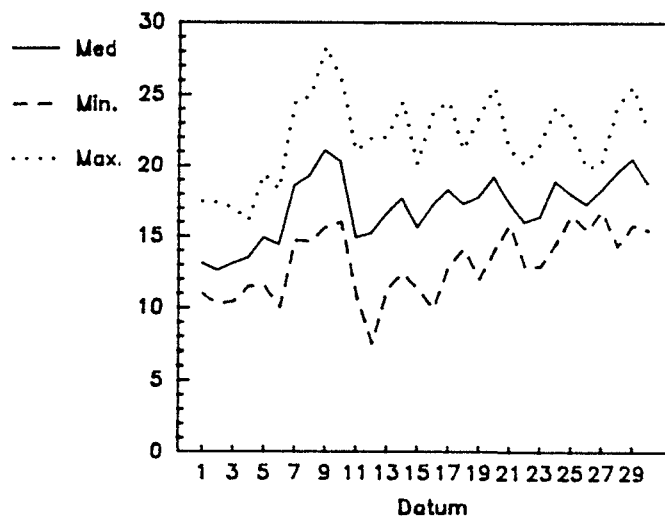
maj 1988

Temperatur (°C)



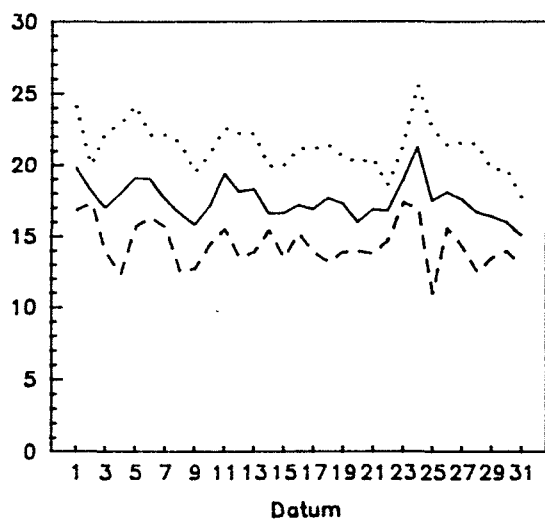
juni 1988

Temperatur (°C)



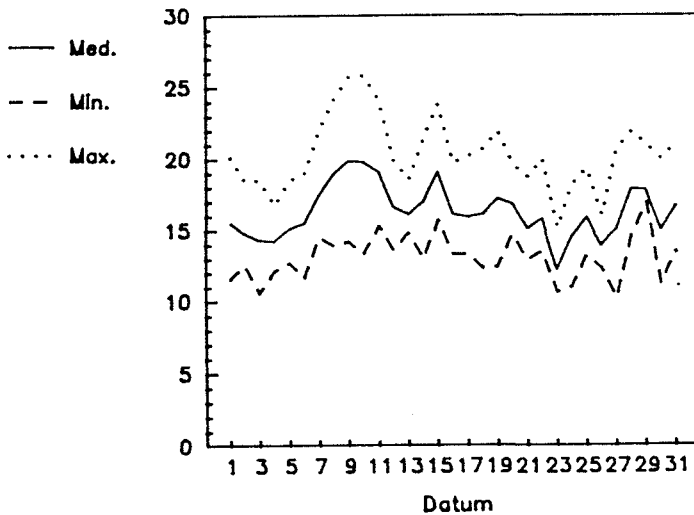
juli 1988

Temperatur (°C)



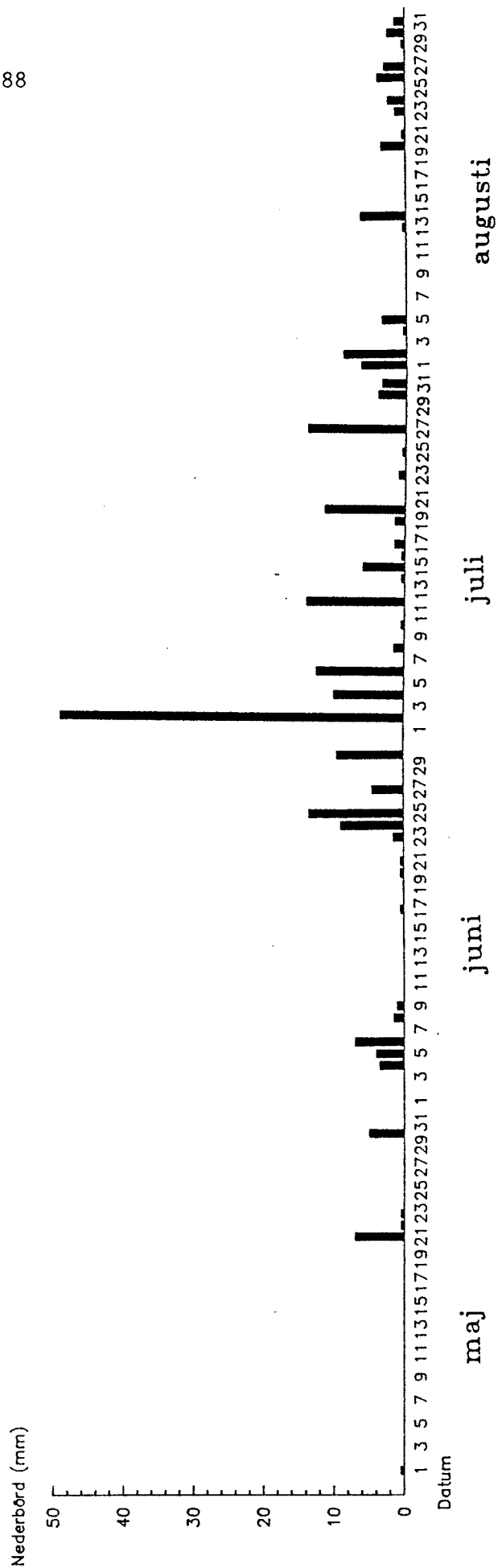
augusti 1988

Temperatur (°C)



NEDERBÖRDSFÖRHÅLLANDEN

U G E R U P MAJ-AUGUSTI 1988

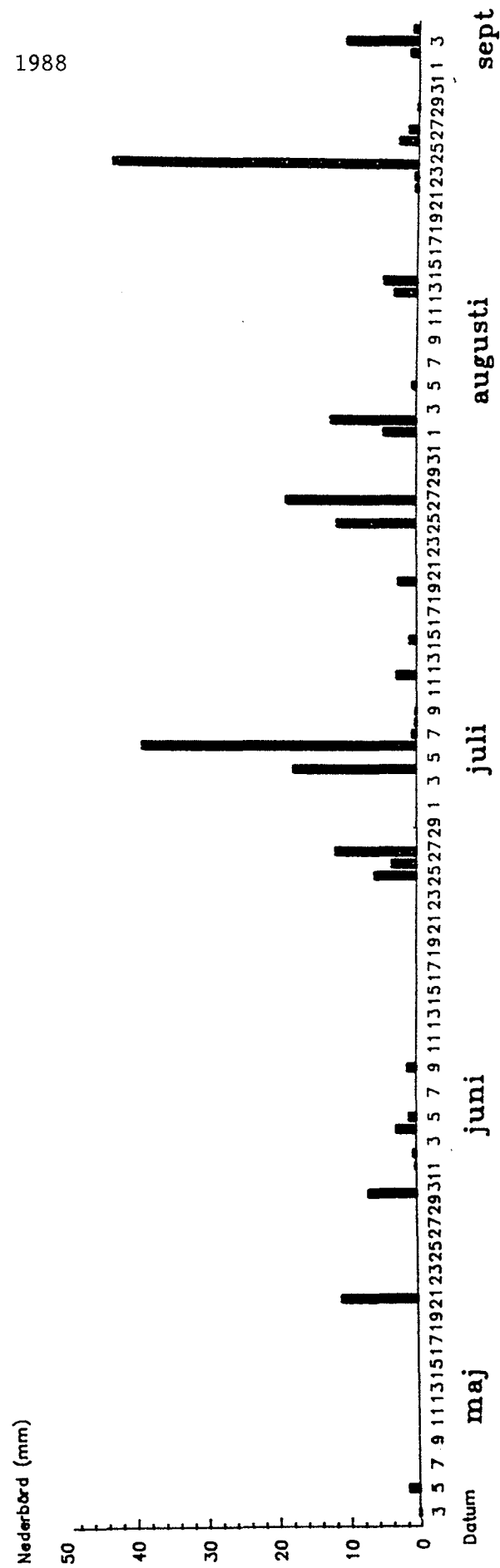
Nederbörd Ugerup
1988

NEDERBÖRDSFÖRHÅLLANDEN

L Ö N N S T O R P MAJ-AUGUSTI 1988

Nederbörd Alnarp

1988



Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE.

- 81:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K., Ingvarsson, A., Karlsson, I., Karlsson, S.-E.:
Resultat av 1980 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och
bevattning. 13 + 47 + 38 s.
- 82:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1981 års fältförsök
avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 80 s.
- *83:1 Berglund, G., Eriksson, J. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1982 års fältförsök avseende
täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 82 s.
- 83:2 Bjerketorp, A.: Höjning av nivåerna vid lågvattenföringar i Forsmarksåns vattensystem upp-
ströms Lövestabruk. 4: Vattenstånden i den centrala sjökedjan. 41 s.
- 84:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av
1983 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 103 s.
- 84:2 McAfee, M.: Assessing the effects of mole drainage on physical properties of a peat soil.
Results from an experiment in mole drainage laid down in 1983. 23 s.
- 85:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av
1984 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 89 s.
- 85:2 Jernlås, R.: Transport av bekämpningsmedel efter markapplikering. Litteraturstudie och
experiment. 33 s.
- 85:3 McAfee, M.: Ytsänkning på torvjord. Bältinge Mossar 1904-1984. 31 s.
- 85:4 Heimer, A.: Värmlands Säby: Bestånds- och rotutveckling efter yttäckning och strukturkalk-
ning på en slamningsbenägen, torkkänslig mellanlera. 55 s.
- 85:5 Aronsson, Y.: Markförsämring genom saltanrikning. 87 s.
- 85:6 Bjerketorp, A. & Josefsson, L.: Vattenföring genom cirkulära brotrummar. Beräkningssätt
under olika hydrauliska betingelser. 16 s.
- 85:7 Armstrong, B.: Bevattning - en global översikt. 55 s.
- 86:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Svensson, M., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.:
Resultat av 1985 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och
bevattning. 85 s.
- 86:2 Bjerketorp, A. & Johnson, L.: Kalhuggningens och skogsdikningens inflytande på vattendra-
gens flöden. En kortfattad kunskapsöversikt. 15 s.
- 86:3 Johansson, W.: Rapport över nordisk forskarkurs om markluft. 30 s.
- 87:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av
1986 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 100 s.
- 87:2 Ljung, G.: Mekanisk analys. Beskrivning av en rationell metod för jordartsbestämning. 13 s.
- 87:3 Benz, J.: Underbevattning. Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup
till grundvattenytan på en lerig grovmo. S. 1-15.
Alinder, S.: Avloppsvatten för underbevattning. Försök med biologiskt renat avloppsvatten
till underbevattning. S. 16-24.
- 87:4 Olovsson, I.: Tubulering - En metod att förbättra dräneringen på jordar med låg genomsläp-
plighet. 35 s.
- 87:5 Segerros, M.: Inverkan av uppdämning på grundvattenstånd. En studie på Mästermyr. 67 s.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien (forts).

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE.

- 88:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av 1987 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 80 s.
- 88:2 Nilsson, Å.: Syrediffusion och redoxpotential vid olika markvattenhalter i styv lera. 54 s.
- 88:3 Rehn, J.-E.: Slitsdränering. Teknisk-hydrologisk utvärdering av en ny dräneringsteknik. 37 s.
- 88:4 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 1: Grundläggande begrepp. 35 s.
- 88:5 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 2: Hydrostatik. 76 s.
- 88:6 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 3: Grunddragen av vätske- och gasrörelsens kinematik. 39 s.
- 88:7 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 5: Ideala, inkompressibla fluiderens rörelse. 47 s.
- 88:8 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 6: Impuls-rörelsemängdsprincipen. 23 s.
- 88:9 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 7: Reella fluiderens rörelse. 28 s.
- 88:10 Bjerketorp, A. (Red.): Jord och vatten hemma och borta. V. Seminarieuppsatser HT-88 i huvudavvattning, översedda och utgivna... Under arbete.
- 89:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1988 års fältförsök avseende detaljavvattning, markvård och markförbättring samt bevattning. 74 s.
- 89:2 Persson, L. & Jernlås, R.: Apparat för kolonnexperiment under omättade förhållanden. Manuskript.
- 89:3 Berglund, K.: Ytsänkning på mosstorvjord. Sammanställning av material från Lidhult, Jönköpings län. 18 s.
- 89:4 Messing, I.: Saturated hydraulic conductivity as related to macroporosity in clay soils. 21 s.
- 89:5 Karlsson, I. M.: Markbyggnad för bostads- och rekreationsområden. Prioritering av forskningsinsatser. 17 s.
- 89:6 Håkansson, A.: Filtermaterial för dränering. Kommentarer till en serie demonstrationsprover av grus- och sågspånsmaterial. 11 s.
- 89:7 Persson, R. & Wredin, A. (red.): Vattningsbehov och näringstillförsel. Föredrag presenterade vid NJF-seminarium nr 151, Landskrona 1-3 aug. 1989. 275 s.
- 89:8 Nitare, M.: Rotutveckling i majs. Examensarbete i hydroteknik. 39 s.

* Upplagan har tagit slut.

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

DISTRIBUTION:

Sveriges Lantbruksuniversitet

ISSN 0282-6569

Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

750 07 UPPSALA, Sverige

Tel. 018-67 11 65, 67 11 81
